

## Département des Sciences de la Terre

### Licence en Sciences et Techniques Eau & Environnement

## Mémoire du projet de fin d'étude

# Les Stations de traitement des eaux usées au Maroc et leur Valorisation dans le domaine de l'irrigation.

Réalisé par : **BENKAROUM HAJAR & BOUMADIANE HIBA ALLAH**

Soutenu le : 29 Juin 2021

Devant la commission d'examen composée de :

Encadrante : Pr. Yamina BOURGEOINI, FST Marrakech  
Examineur : Pr. Ali RHOJJATI, FST Marrakech

## **Remerciements**

**En préambule de ce mémoire,**

**Nous souhaitons adresser ici tous nos remerciements aux personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.**

**Tout d'abord, nous voudrions remercier sincèrement Mme. YAMINA BOURGOINI pour leur suivi durant la période du mémoire et la finalisation de ce projet, son soutien et ses précieux conseils.**

**Nous tenons également à représenter nos vifs remerciements à Mr. Ali RHOUJJATI d'accepter être examinateur de ce mémoire de fin d'étude.**

**A cette occasion nous profitons de s'adresser nos sincères remerciements à tous nos proches et amis qui nous ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de notre projet de fin d'étude.**

***Merci.***

## **Liste des figures :**

<b>Figure 1</b> Position géographique du Maroc	11
<b>Figure 2</b> carte géologique du Maroc réalisée à partir de cartes régionales	13
<b>Figure 3</b> Répartition des climats au Maroc	14
<b>Figure 4</b> Variabilité pluviale spatiale au Maroc	15
<b>Figure 5</b> Comparaison des ressources en eau	16
<b>Figure 6</b> Répartition spatiale des bassins hydrologiques au Maroc	16
<b>Figure 7</b> Répartition des nappes superficielles et profondes au Maroc	17
<b>Figure 8</b> Projection de la consommation d'eaux dans chaque ville au Maroc	18
<b>Figure 9</b> Volume total d'eaux usées produites	19
<b>Figure 10</b> Pertes d'eaux dans différentes villes du Maroc	19
<b>Figure 11</b> La distribution graphique de la population marocaine en million	20
<b>Figure 12</b> Projection démographique de la population urbaine et rurale au Maroc	21
<b>Figure 13</b> STEP d'Errachidia	24
<b>Figure 14</b> STEP Bensilimane	24
Figure 15: STEP Dakhla	25
<b>Figure 16</b> STEP Al Hoceima	25
<b>Figure 17</b> STEP M'Zar	25
<b>Figure 18</b> STEP de Ben Sergaou	25
<b>Figure 19</b> STEP El kelaa des sraghna	26
<b>Figure 20</b> STEP Zaio	26
<b>Figure 21</b> : Répartition des STEP par niveau de traitement au Maroc	26
<b>Figure 22</b> Etapes du prétraitement	34
<b>Figure 23</b> Schéma explicatif des étapes du traitement primaire	35
<b>Figure 24</b> : Dispositif du traitement par boues activées	35
<b>Figure 25</b> : Schéma explicatif du traitement par lits bactériens	36
<b>Figure 26</b> : STEP d'Errachidia	36
<b>Figure 27</b> : Schéma d'un bioréacteur à membranes	37
<b>Figure 28</b> Rendement des cultures après irrigation	49
<b>Figure 29</b> : Photo aérienne de la STEP de Marrakech	50
<b>Figure 30</b> : de situation des parcours de golfs et des ouvrages de distribution par rapport à la STEP de la ville de Marrakech	51

## **Liste des tableaux :**

<b>Tableau 1</b> Bassins hydrologiques au Maroc .....	16
<b>Tableau 2</b> Potentiel exploitable des bassins hydrologiques du Maroc .....	18
<b>Tableau 3</b> Le nombre d'habitants en million et par région.....	22
<b>Tableau 4</b> Répartition des STEP selon le traitement primaire .....	27
<b>Tableau 5</b> Répartition des STEP selon le traitement secondaire.....	27
<b>Tableau 6</b> Répartition des STEP selon le traitement tertiaire .....	30
<b>Tableau 7</b> Différents indicateurs de qualité utilisés dans une station d'épuration .....	39
<b>Tableau 8</b> Valeurs limites des paramètres bactériologiques .....	42
<b>Tableau 9</b> Valeurs limites des paramètres parasitologiques .....	43
<b>Tableau 10</b> Valeurs limites des métaux .....	43
<b>Tableau 11</b> Valeurs limites des paramètres physico-chimiques.....	44
<b>Tableau 12</b> Valeurs limites de quelques sels minéraux .....	44
<b>Tableau 13</b> Valeurs limites d'effets divers .....	45
<b>Tableau 14</b> Catégories des EUT et conditions de réutilisation en irrigation.....	46

## **Liste des abréviations**

**AA** : Anti Atlas

**CEC** : Capacité d'échange cationique

**DIAEA** : Direction de l'Irrigation et de l'Aménagement des Espaces Verts

**EP** : Eau de Puits

**EU** : Eau Usée

**EUB** : Eau Usée Brute

**EUT** : Eau Usée Traitée

**FAO** : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

**HCP** : Le Haut-Commissariat au Plan

**M** : Millions

**MES** : Matières En Suspensions

**OCP** : L'Office Chérifien des Phosphates

**OD** : Oxygène Dissous

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**PIB** : Produit Intérieur Brut

**PNA** : Plan National d'Assainissement

**PNK** : Phosphore, Azote, Potassium

**RAMSA** : Régie Autonome Multi Service d'AGADIR

**REUT** : Réutilisation des Eaux Usées Traitées

**S. E. E.E** : Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de

**SAR** : Rapport d'absorption du sodium

**SAU** : Surface Agricole Utile

**STEP** : Station d'Épuration des eaux usées

**USAID** : Agence Américaine pour le Développement International

**GIEC** : Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat

**ONHYM** : Office National des Hydrocarbures et des Mines

## **Table des matières :**

INTRODUCTION .....	8
<b>I. Chapitre 1 : Généralités .....</b>	<b>10</b>
<b>1. Contexte géologique et géographique.....</b>	<b>11</b>
1.1 La situation géographique du Maroc.....	11
1.2 La subdivision structurale .....	11
<b>2. Contexte hydro-climatique.....</b>	<b>13</b>
2.1 Contexte climatique.....	13
2.2. Ressources en eau et volumes rejetés .....	15
➤ Eaux superficielles.....	16
➤ Eaux souterraines.....	17
➤ Pertes des volumes d'eau.....	18
2.3 Déficit hydrique au Maroc.....	20
2.4 Evolution démographique .....	20
<b>II. Chapitre 2 : les stations d'épuration et les différentes techniques de traitement.....</b>	<b>23</b>
❖ <b>Partie 1 : Les stations d'épuration au Maroc .....</b>	<b>24</b>
1. Catégories des stations d'épuration au Maroc .....	24
2. Les capacités des STEP au Maroc .....	32
3. Les domaines d'utilisation .....	32
❖ <b>Partie 2 : Etapes de traitement et indicateurs de qualité .....</b>	<b>33</b>
1. Etapes du traitement .....	33
• Prétraitement.....	33
Dégrillage .....	33
Dessablage .....	33
Déshuilage-Dégraissage .....	33
• Traitement primaire .....	34

Décantation.....	34
Récupération de la boue .....	34
•    Traitement secondaire .....	35
Les boues activées .....	35
Les lits bactériens .....	35
Le lagunage naturel .....	36
Les bioréacteurs à membranes.....	37
•    Traitement tertiaire .....	37
Elimination de MO et MES .....	37
Elimination du phosphore et de l'azote .....	38
Elimination des pathogènes .....	38
<b>2 Indicateurs et paramètres de qualité .....</b>	<b>39</b>
<b>III. Chapitre 3 : La valorisation des eaux épurées dans l'irrigation.....</b>	<b>41</b>
<b>.1 : les paramètres de qualité des eaux traitées destinées à l'irrigation .....</b>	<b>42</b>
Paramètres bactériologiques .....	42
Paramètres parasitologiques .....	43
Paramètres toxicologiques.....	43
Paramètres physico-chimiques .....	44
Ions toxiques (affectant les cultures sensibles).....	44
Effets divers (affectant les cultures sensibles).....	45
<b>2. Etudes préalables à la REUT dans l'irrigation.....</b>	<b>45</b>
<b>3. Types de la REUT en irrigation selon le niveau de traitement .....</b>	<b>46</b>
<b>4. Pouvoir fertilisant des EUT .....</b>	<b>47</b>
<b>5. Expériences du Maroc dans la valorisation des EUT en irrigation .....</b>	<b>47</b>
<b>6. Bénéfices et inconvénients de la réutilisation.....</b>	<b>49</b>
<b>7. Exemple concret au Maroc .....</b>	<b>50</b>
<b>CONCLUSIONS GENERALES.....</b>	<b>52</b>

# **INTRODUCTION**

La crise de l'eau se pose avec acuité à l'échelle mondiale et en particulier en Afrique. Le Maroc n'a pas été épargné par le phénomène de la sécheresse.

Les perturbations climatiques, la surexploitation des nappes et la rareté des précipitations imposent des pressions sur les ressources hydriques. De plus, la croissance des activités humaines et économiques ainsi que celle de la démographie font que les besoins en eau sont de plus en plus importants. Par ailleurs, cette augmentation démographique s'accompagne de perte d'énormes volumes d'eaux et d'une production considérable d'eaux usées (EU), dont le rejet a des conséquences alarmantes sur l'environnement.

En outre, l'agriculture occupe une place importante dans l'économie du Maroc, elle génère près de 14% du Produit intérieur brut (ministère de l'agriculture) et représente un pourvoyeur d'emploi pour presque 40% de la population marocaine, sachant que ce domaine est le plus grand consommateur d'eau puisqu'il représente 85% de la demande nationale et vu la situation du stress hydrique que connaît notre pays, une gestion raisonnable de l'eau destinée à l'irrigation est devenue très nécessaire pour répondre au manque d'eau dans ce secteur. D'autre part, le Maroc est signataire de conventions internationales relatives à la protection de l'environnement et à la santé. Dans le cadre de ces accords, le Maroc a développé un plan national d'assainissement (PNA) qui consiste en la collecte et le traitement des eaux usées dans des stations de traitement (STEP) implantées dans la majorité des centres ruraux et urbains. Profitant de l'existence de ces stations d'épuration, le Maroc a adopté une stratégie qui consiste à améliorer ce traitement des eaux usées à des niveaux qui permettent leurs réutilisations comme eau d'irrigation afin de soulager les ressources naturelles conventionnelles tout en améliorant les rendements des cultures.

Pour la réutilisation des eaux usées traitées dans l'irrigation, elles doivent répondre à des normes de qualité. En effet, des centaines d'études scientifiques démontrent qu'un traitement efficace des EU permet de les rendre tout à fait conformes aux normes relatives aux eaux d'irrigation et arriver au pouvoir fertilisant. Toutefois, ces eaux usées traitées peuvent néanmoins présenter des risques sanitaires si les paramètres de qualité sont négligés.

Ainsi, le Maroc s'est trouvé forcé d'agir et de basculer le point, afin d'affronter les contraintes qui entravent son développement et la réutilisation des eaux épurées est l'une des mesures entreprises qui va couvrir le déficit en eau, assurer une protection de l'environnement et aussi subvenir à la demande hydrique grandissant d'irrigation.

# **Chapitre 1 : GENERALITES**

## 1. Contexte géologique et géographique :

### 1.1 La situation géographique du Maroc

Le Maroc est situé au Nord-Ouest de l'Afrique. Il est délimité au Nord par le Détroit de Gibraltar et la Mer Méditerranée, au Sud par la Mauritanie, à l'Est par l'Algérie et à l'Ouest par l'Océan Atlantique. Sa superficie atteint **710 850 Km<sup>2</sup>** avec une façade maritime s'étendant sur un total d'environ **3500 Km**, s'ouvrant sur la méditerranée au Nord, avec une côte de près de **500 Km**, et sur l'océan atlantique à l'Ouest avec une côte d'environ **3000 Km** (HCP).

Cette position géostratégique privilégiée motive le Maroc à améliorer son développement dans différents secteurs.



**Figure 1** Position géographique du Maroc (Google Maps)

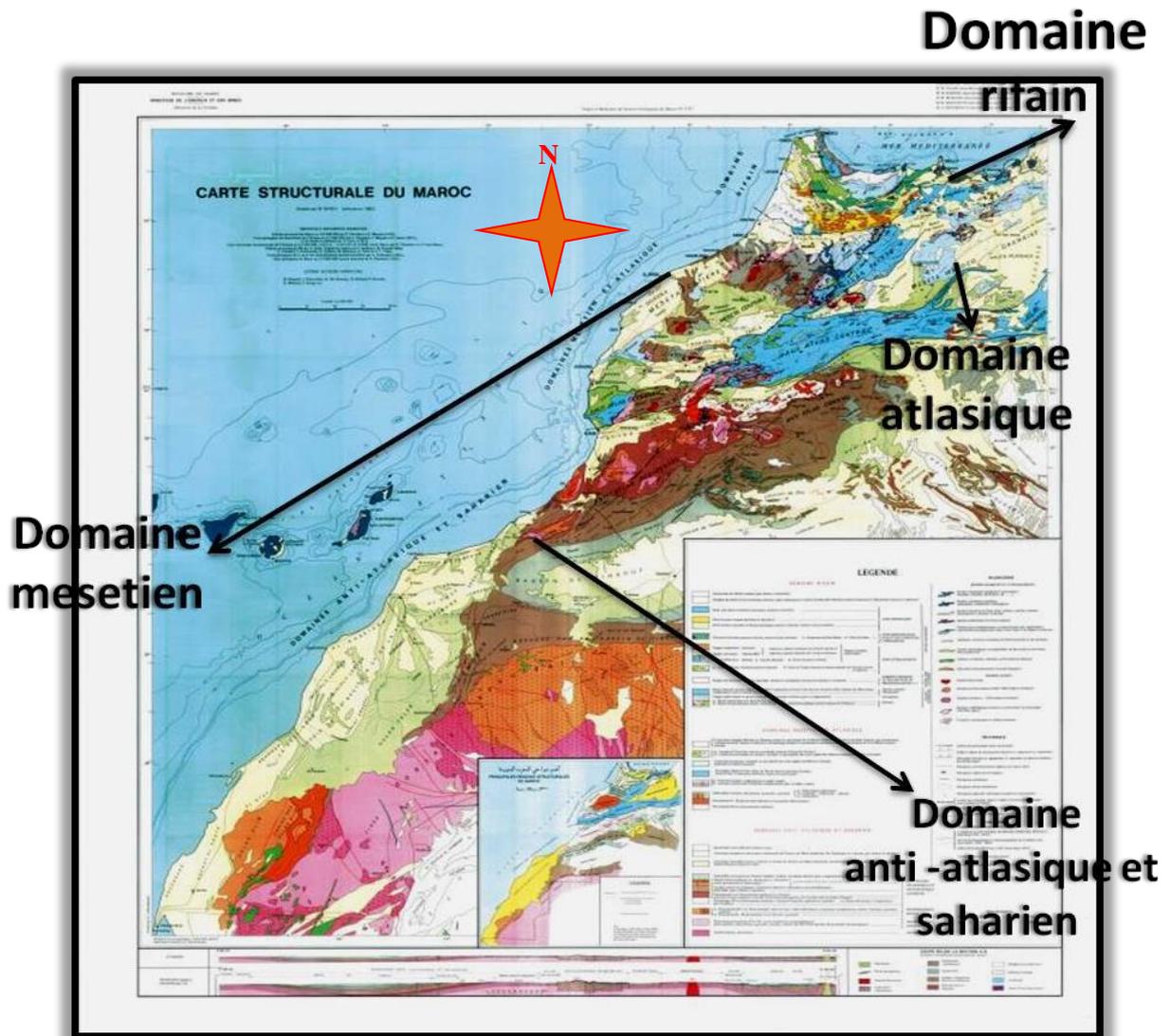
### 1.2 La subdivision structurale :

Pour réussir le développement durable de chaque pays on doit revenir à son histoire géologique de telle sorte à effectuer une reconstitution paléogéographique.

Géologiquement, le Maroc se localise dans la partie NW de l'Afrique, dans le triplet de jonctions des trois plaques tectoniques, Afrique, Eurasie et l'Amérique Nord, en occupant des terrains d'âge depuis l'archéen jusqu'à l'actuel. Les cycles orogéniques déroulés, panafricain, hercynien, atlasique...etc. Ils ont affecté un morcellement en domaines :

- **Le domaine Saharien et Anti-atlasique :** Relié au Craton Ouest africain au Sud et limité par l'accident Sud atlasique au Nord, on s'intéresse à deux parties, une qui concerne la dorsale Réguibat, où affleure l'Eburnéen et l'Archéen, et une deuxième sous forme de plusieurs boutonnières qui constituent la chaîne de l'Anti-Atlas, cette formation est due à une collision continentale, on parle de l'orogénèse éburnéenne dans AA occidentale et panafricaine dans l'orientale. Le matériel rocheux remarqué dans ce domaine était des granites, ophiolites et des schistes.
- **Le domaine Mésétien :** C'est un ensemble de plaines qui constituent le socle paléozoïque d'âge depuis le Cambrien vers le Carbonifère, on distingue la Meseta orientale et la Meseta occidentale. Ce domaine est formé par l'orogénèse hercynienne qui a laissé des terrains sédimentaires avec des traces d'activité volcanique intense d'âge Viséen. (ONHYM.).
- **Le domaine Atlasique (Moyen et Haut Atlas) :** Affecté par l'orogénèse Alpine, en laissant des chaînes intracontinentales structurées, c'est une couverture carbonatée, à terrains mésozoïque et cénozoïques, et comporte deux zones, une couverture plissée du Haut et Moyen Atlas et l'autre sous forme de couverture tabulaire qui constitue les Hauts plateaux. (ONHYM n.d.).
- **Le domaine Rifain :** Situé dans la partie Nord du Maroc, il est bordé à l'Ouest par l'Océan atlantique, et par le domaine atlasique au Sud. Le domaine rifain est une unité des nappes de charriage résultant d'orogénèse alpine. Il comprend trois domaines qui sont du Nord vers le Sud :
  - ✓ Le Rif interne contient des unités cristallines
  - ✓ Le Domaine des nappes de flysch sous forme de séries sédimentaire détritiques
  - ✓ Le Rif externe se compose de nappes charriées

Le front des nappes rifaines sépare le Rif du domaine Atlaso-Mésétien, et ce dernier est limité du domaine Anti-atlasique par l'accident sud atlasique. (ONHYM)

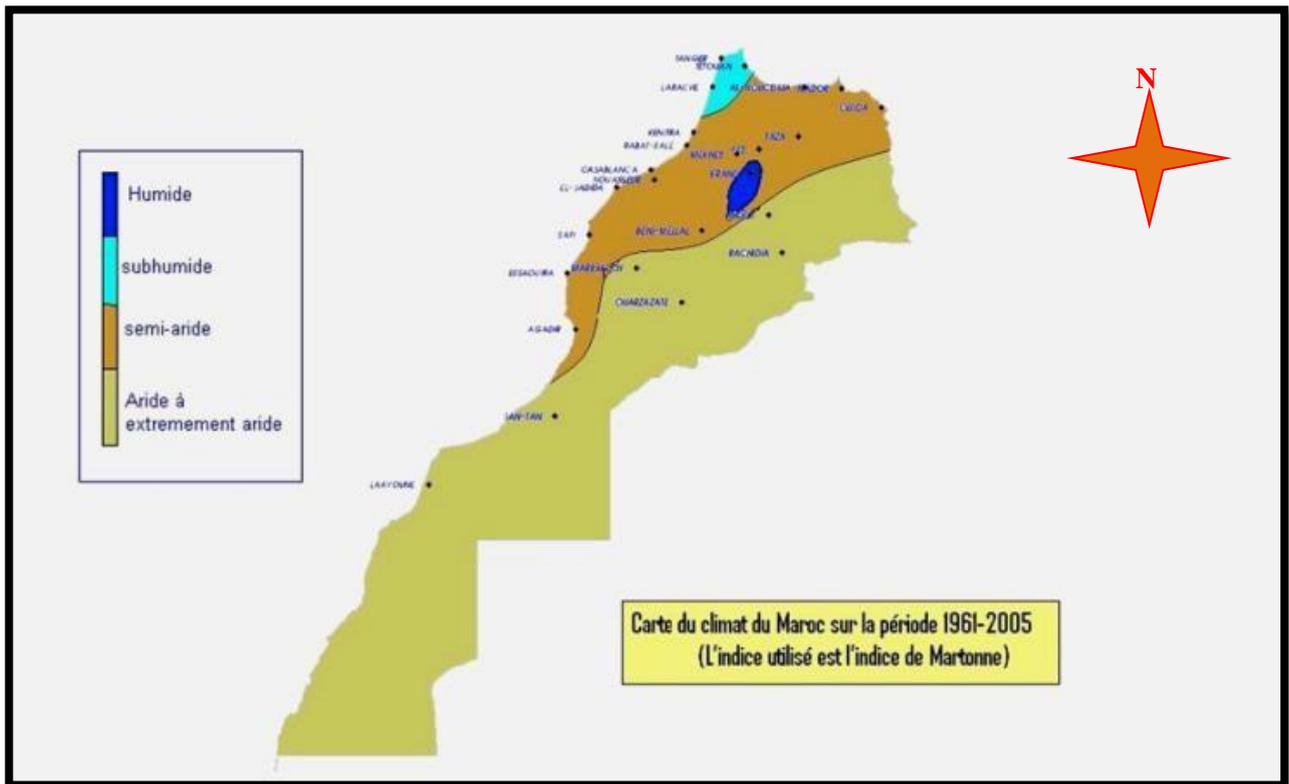


**Figure 2** La subdivision structurale du Maroc

## 2. Contexte hydro-climatique :

### 2.1. Contexte climatique :

De sa situation géographique entre le 21<sup>ème</sup> et 37<sup>ème</sup> degré de latitude Nord et de son relief (Bzioui 2004), le Maroc se caractérise par un contexte climatique varié. En se situant entre 2 grandes zones climatiques qui sont le climat tempéré au Nord et les climats sahariens et tropicaux, au Sud, il se distingue par 4 types de climats : humide ; subhumide ; semi-aride ; aride, avec deux principales saisons : été chaud et sec, un hiver froid et humide.

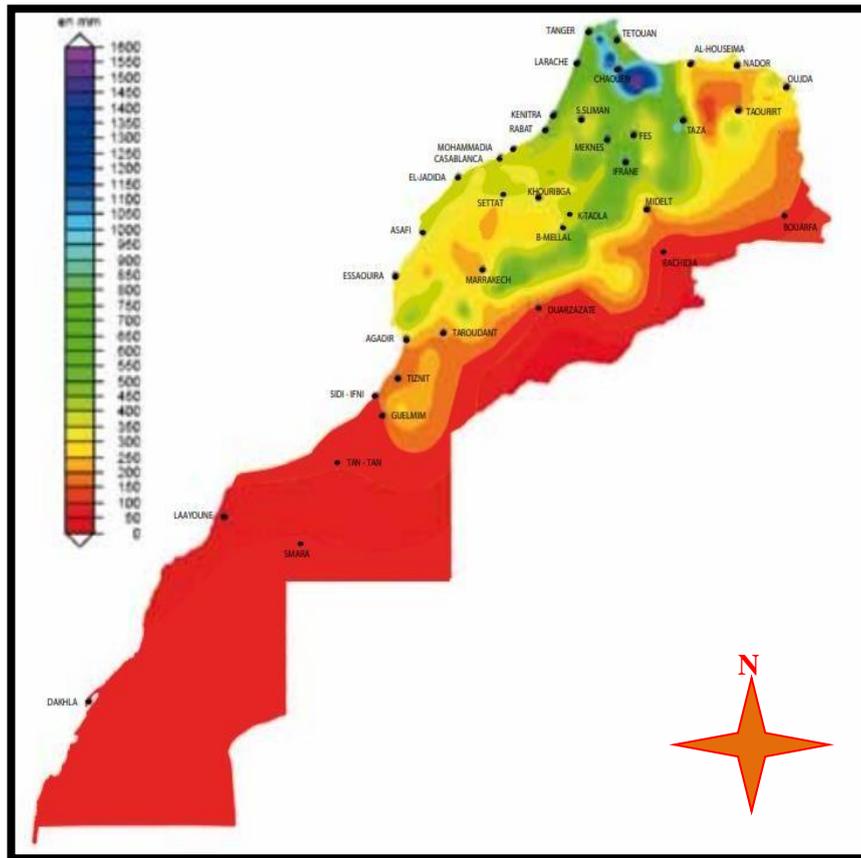


**Figure 3 Répartition des climats au Maroc** (Ministère Délégué Auprès Du Ministre De L'énergie, Des Mines 2014)

Les précipitations et les températures sont fortement influencées par l'océan atlantique, à l'Ouest, la mer méditerranéenne au Nord et le Sahara désert au Sud et au Sud-Est, ainsi que par les reliefs de l'Atlas et du Rif. De ce fait, la pluviométrie au Maroc présente une répartition spatiale disparate ; les précipitations moyennes annuelles se présentent comme suit, d'après la direction générale de l'eau (Présentation Générale – Direction Générale de l'Eau):

- Supérieures à 800 mm dans la région la plus arrosée du Nord.
- Entre 400 à 600 mm dans la région du Centre ;
- Entre 200 et 400 mm dans la région de l'Oriental et du Souss ;
- Entre 50 et 200 mm dans les zones Sud-atlasiques ;
- Et moins de 50 mm dans les bassins de Sakia El Hamra et Oued Eddahab.

Les régions du Nord-Ouest sont les plus arrosées que le reste du royaume et présentent l'essentiel des apports en eaux de surface. Les parties Est et Sud du pays connaissent une très grande rareté de précipitations. La pluviométrie au Maroc connaît aussi une grande variabilité temporelle avec la succession des périodes pluvieuses et des périodes de sécheresse prolongées notamment au cours des trois dernières décennies.

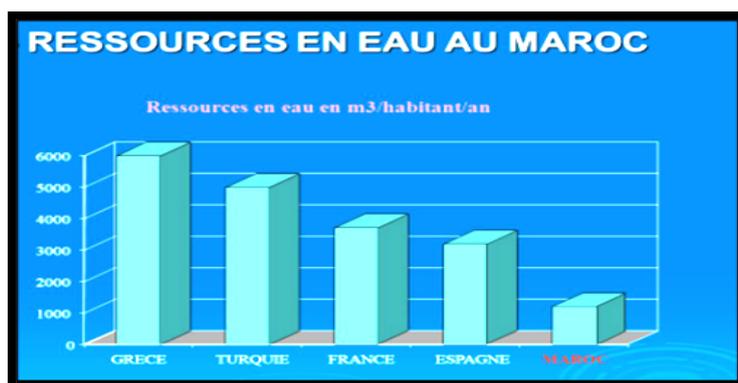


*Figure 4 Variabilité pluviale spatiale au Maroc (World-Bank 2017)*

Toutes les données météorologiques disponibles indiquent que le Maroc a vécu un réchauffement significatif durant les dernières années, avec une augmentation des températures annuelles et un recul des précipitations. On prévoit même l'aggravation de ce réchauffement puisque on estime, selon le rapport du groupe GIEC, une augmentation des températures annuelles de 1,6% d'ici 2030 et une diminution des précipitations de 14% dans la même période. Par ailleurs, la désertification croissante que connaît notre pays a réduit les zones humides et semi-humides, tandis que les zones sèches et arides avancent vers le Nord. De ce fait on constate l'accélération des phénomènes climatiques extrêmes (sécheresse, inondations).

## **2.2. Ressources en eau et volumes rejetés :**

Au Maroc les ressources en eau conventionnelles sont parmi les plus faibles au monde, leur potentiel est évalué à 22 Mm<sup>3</sup> /an.



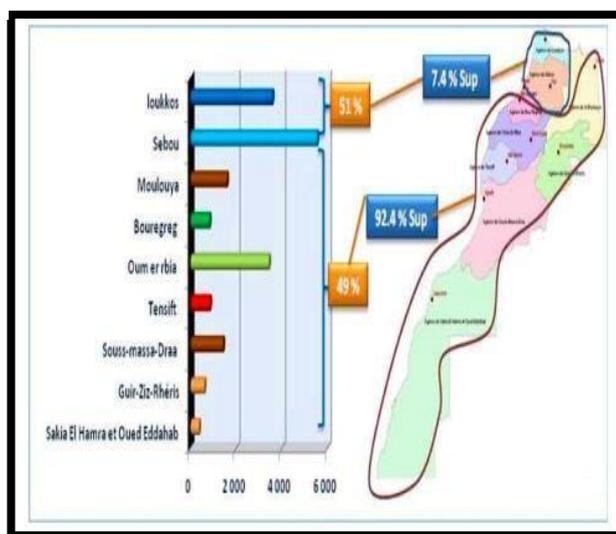
**Figure 5** Comparaison des ressources en eau (ONEE - Branche Eau)

➤ **Eaux superficielles :**

Les ressources en eau superficielles sont évaluées à près de 18 Mm³/an. Or, les écoulements des eaux de surface sont fortement liés aux précipitations, ce qui explique les répartitions inégales dans l'espace et dans le temps du régime hydrologique des bassins hydrauliques de notre Royaume. On remarque donc, une instabilité annuelle des apports en eau marquée par l'alternance des séquences humides et sèches. D'autre part, de point de vue répartition spatiale, on remarque que l'importance des écoulements diminue du Nord vers le Sud ("Water Resources in Morocco - Fanack Water")

**Tableau 1** Bassins hydrologiques au Maroc

Bassins hydrauliques	Superficie (Km²)	Ecoulement moyen d'eau de surface (Million de m³)
Bassins Loukkos, Tangerois et Côtiers Méditerranéens	12 805	3 600
Moulouya, figuig-kert-isly-kiss	74 145	1 610
Sebou	40 000	5 560
Bouregreg et la chaouia	20 470	850
Oum Er Rbia et El Jadida Safi	48 070	3 315
Tensift et Ksob-Igouzoulen	24 800	800
Souss-Massa-Draa	126 480	1444
Guir-Ziz-Rhèris	58 841	626
Sakia El Hamra et Oued Eddahab	305 239	390
<b>TOTAL</b>	<b>710 850</b>	<b>18 195</b>

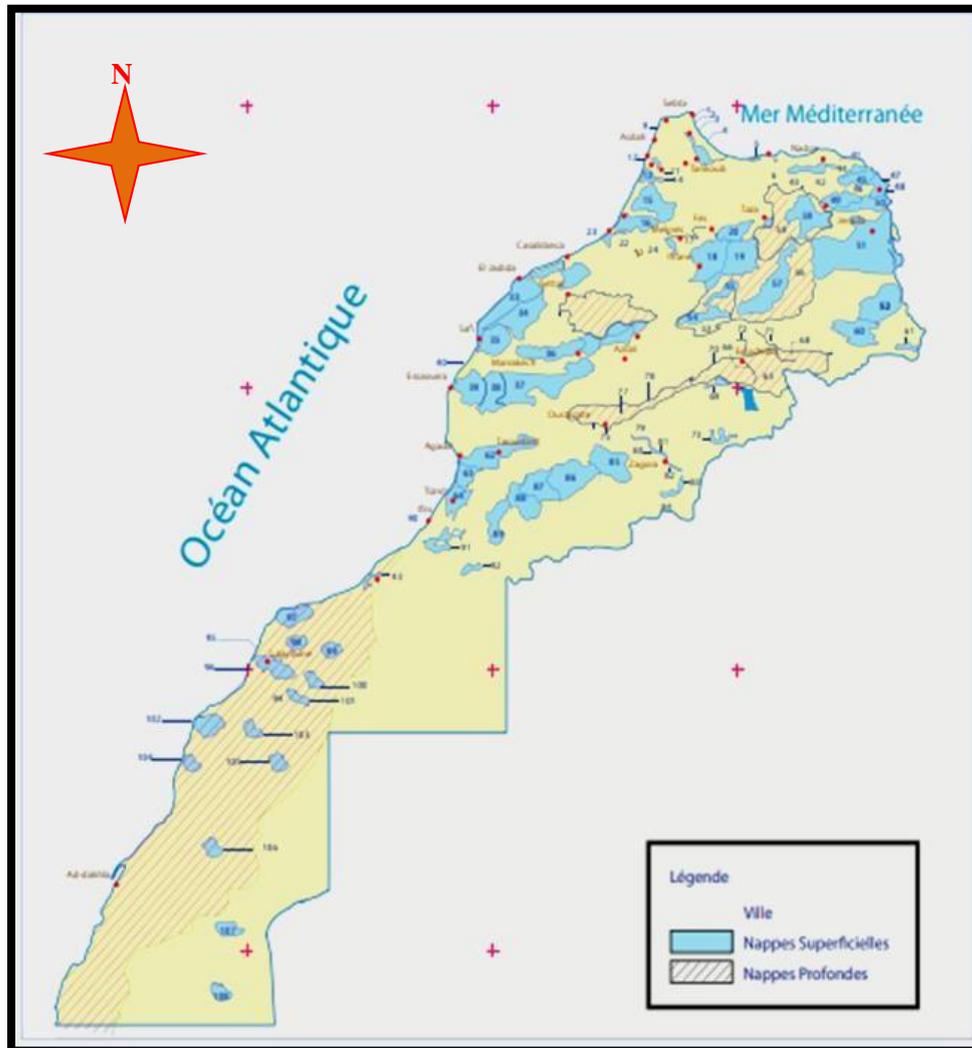


**Figure 6** Répartition spatiale des bassins hydrologiques au Maroc

Les deux bassins de Sebou et Loukkous représentent à eux seuls 51% de l'apport en eau superficielle et les 7 autres bassins complètent les 49% restants.

➤ **Eaux souterraines :**

L'eau souterraine représente environ 20% du potentiel en ressources en eau du pays. Les aquifères les plus importants couvrent 10% de la superficie totale du pays (World-Bank 2017).



**Figure 7 Répartition des nappes superficielles et profondes au Maroc**

Actuellement, la quasi-totalité des eaux souterraines renouvelables connues sont entièrement exploitées.

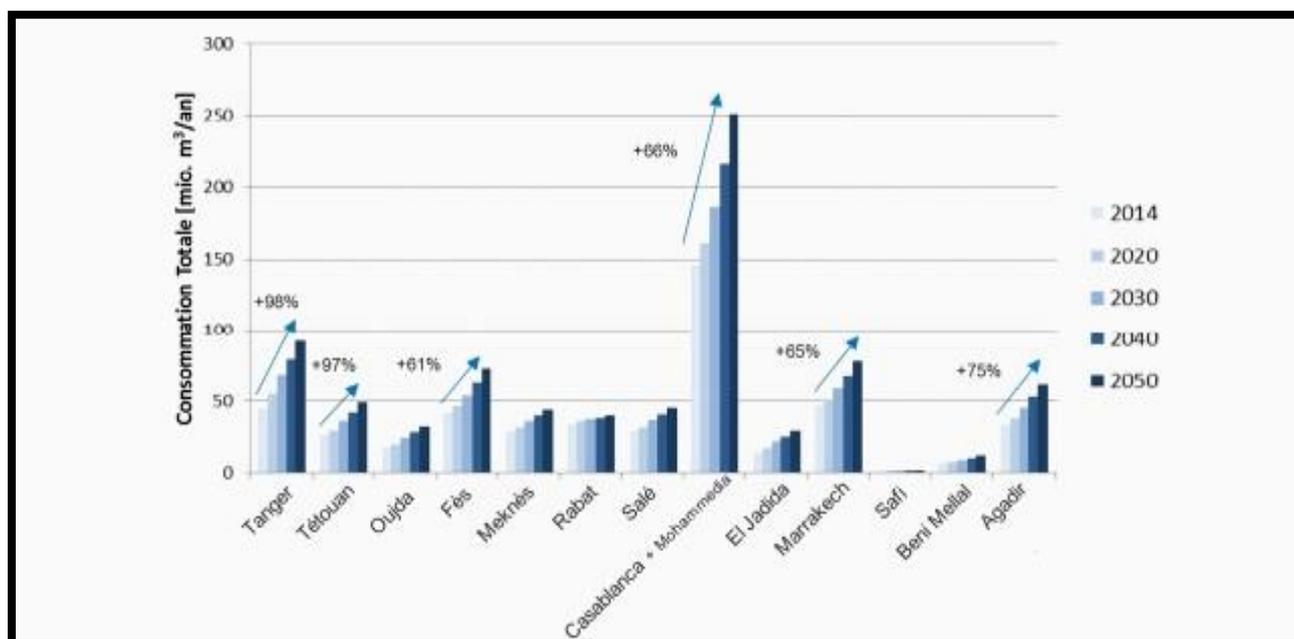
Le potentiel exploitable est à l'entour des 4 millions de m<sup>3</sup>, la répartition selon les bassins hydrauliques est présentée comme suit (tableau 2) :

**Tableau 2** Potentiel exploitable des bassins hydrologiques du Maroc (World-Bank 2017)

Bassins	Superficie en Km <sup>2</sup>	Potentiel exploitable en Mm <sup>3</sup> /an
Bassins Loukkos, Tangérois et côtiers méditerranés	12 800	190
Moulouya, Figuig - Kert - Isly - Kiss	76 664	512
Sebou	40 000	1 300
Bouregreg et la Chaouïa	20 470	120
Oum Er Rbiâa et El Jadida Safi	48 070	405
Tensift et Ksob - Igouzoulen	24 800	520
Souss-Massa- Drâa	126 480	691
Guir- Ziz-Rhris	58 841	313
Sakia El Hamra et Oued Eddahab	302 725	16
<b>Total</b>	<b>710 850</b>	<b>4 067</b>

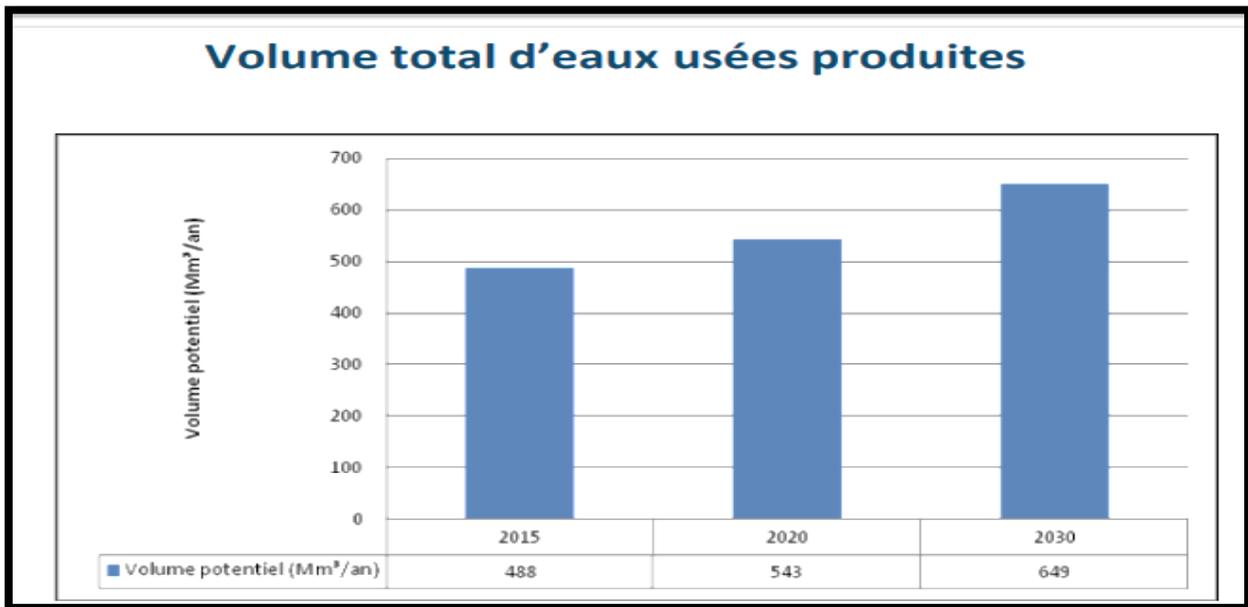
Les aquifères situés dans les bassins de Souss-Massa, Oum Er Rabiaa, Tensift et Sebou sont les plus surexploités et cette utilisation excessive conduit à une baisse rapide de la nappe phréatique et met déjà en péril le développement économique et social de ces régions , ce qui peut conduire à l’accentuation de la désertification.

➤ **Pertes des volumes d’eau :**

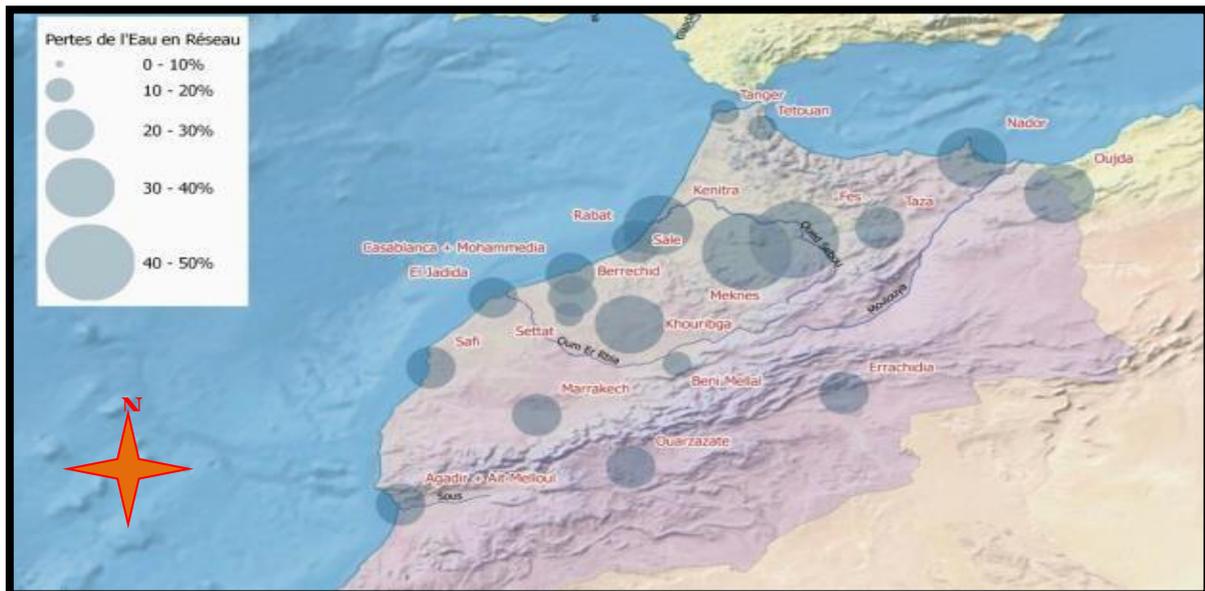


**Figure 8** Projection de la consommation d’eau au Maroc (World-Bank 2017)

L'évolution démographique et économique importante dans notre pays est suivie d'une consommation considérable des ressources en eau. Les villes de Casablanca, Marrakech et Tanger ont le taux de consommation le plus élevé. Cet accroissement démographique est aussi accompagné d'une perte d'énormes volumes d'eau, en effet la valeur moyenne des pertes d'eau au Maroc est estimée de 27% qui est une valeur élevée par rapport aux standards internationaux, ainsi que d'une production importante des eaux usées pendant ces dernières années (figure 9).



**Figure 9** Volume total d'eaux usées produites (Ministère de l'agriculture)



**Figure 10** Pertes d'eaux dans différentes villes du Maroc (World-Bank 2017)

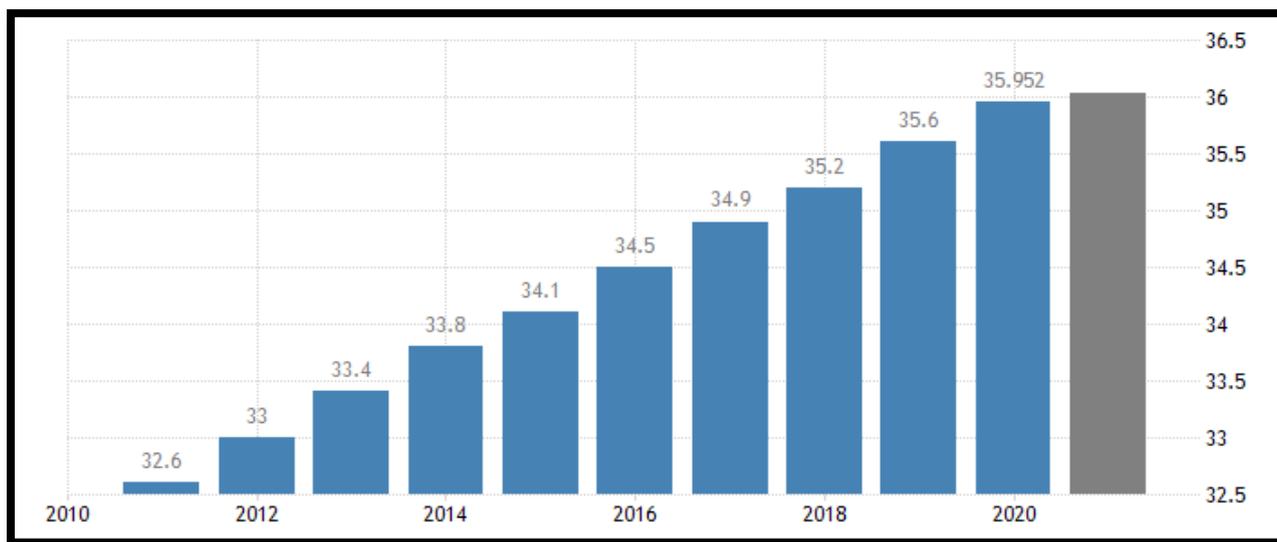
### 2.3. Déficit hydrique au Maroc :

D'après le World Bank Institute, le Maroc est classé parmi les pays les plus menacés par une pénurie d'eau, il occupe la 23<sup>ème</sup> place sur 165 des pays exposés aux risques hydriques. Selon l'ONU on est passé d'une valeur de 2500m<sup>3</sup>/habitant/an des ressources en eau en 1960, à 650m<sup>3</sup> /habitant/an en 2021.

Le ministère de l'environnement a expliqué cette pénurie par les faibles précipitations liées aux changements climatiques et par les épisodes de sécheresse successives pendant ces dernières décennies, ainsi que par les mauvaises gestions des ressources en eaux

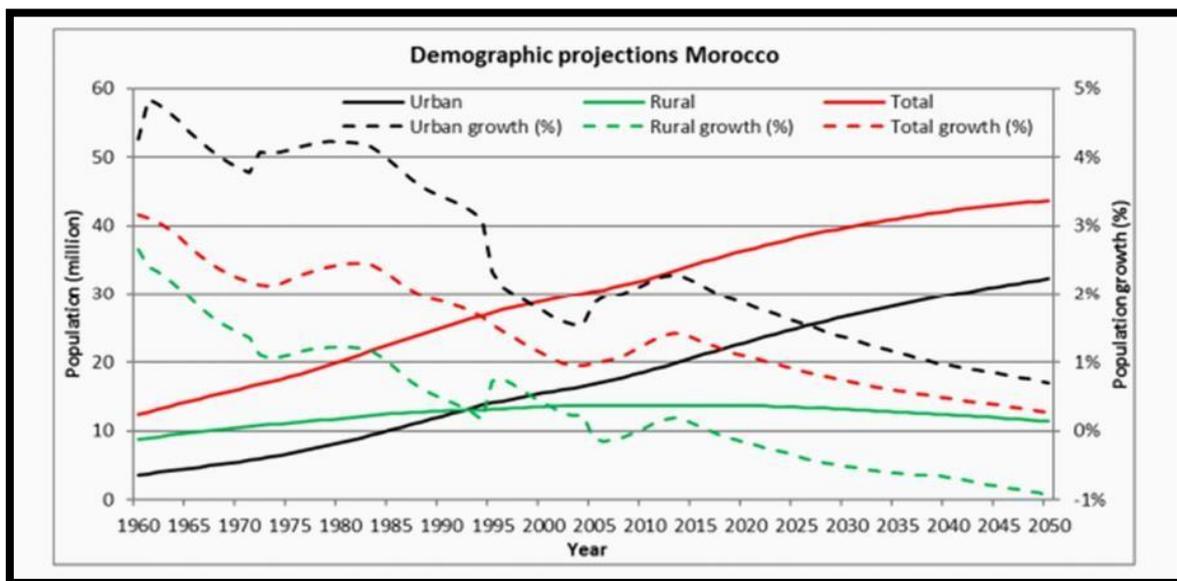
### 2.4. Evolution démographique :

Démographiquement, la population du Maroc a été estimée à près de 37,13 millions d'habitants en Janvier 2021, ce nombre était de 35,95 millions en 2020, et les projections actuelles prévoient une augmentation jusqu'à 47,77 millions en 2060. Ces chiffres montrent que la population marocaine continuera à croître dans l'avenir. Le graphe suivant représente l'arrangement annuel des habitants, en million, dans la période de 2010-2020. Une différence de 3,35 millions en 10 ans doit être prise en considération.



**Figure 11** La distribution graphique de la population marocaine en million (“Morocco Population | 1960-2020 Data | 2021-2023 Forecast | Historical | Chart | News”.)

Cette élévation annuelle de population apparait lente mais nécessite une précaution de sorte que l'augmentation s'équilibre avec les nécessités. Ce rythme d'évolution s'accroît continuellement d'une façon inégale entre les milieux urbain et rurale, dont on a un taux de croissance en diminution, puisque on prévoit que le nombre de la population rurale va diminuer de 2,2M d'habitants d'ici 2050, en opposé, la population urbaine va augmenter de 9,5M d'habitants durant la même période (Figure 12). Plusieurs facteurs contribuent à cette répartition. Ces facteurs portent sur l'urbanisme, les conditions économiques et l'aménagement qui poussent les habitants à changer leurs endroits d'habitat en quittant les milieux ruraux pour chercher des circonstances de vie plus convenables dans les villes.



**Figure 12** Projection démographique de la population urbaine et rurale au Maroc (World-Bank 2017)

Un autre paramètre vient confirmer les chiffres, c'est l'évolution d'une ville et sa qualité d'infrastructure, d'agriculture, de pêche et d'industrie en donnant l'exemple de la région de Casablanca-Settat avec un nombre de 6 Million, par contre dans les régions du sud saharien ce nombre est plus faible, environ 100 Mille habitants. On donne l'arrangement suivant par régions marocaines d'après le recensement de populations de 2015 :

**Tableau 3** Le nombre d'habitants en million et par région (“Maroc • Fiche Pays • PopulationData.Net”)

Région	Nombre d'habitant
Casablanca- Settat	6 826 773
Rabat- Salé- Kénitra	4 552 585
Marrakech- Safi	4 504 767
Fès- Meknès	4 216 957
Tanger- Tétouan- Al Hoceima	3 540 012
Souss- Massa	2 657 906
Béni Mellal- Khénifra	2 512 375
Oriental	2 302 182
Drâa- Tafilalet	1 627 269
Guelmim- Oued Noun	414 489
Laayoune- Sakia El Hamra	340 748
Eddakhla- Oued Eddahab	114 021

➤ **Conclusion**

Tenant compte des impacts graves des changements climatiques, démographiques et économiques futurs, le Maroc pourrait atteindre le seuil de rareté extrême de l'eau, ce qui impose de penser à une gestion plus efficace de cette source. Ce manque d'eau est souvent remédié par des techniques alternatives telles que le dessalement des eaux de mer et la réutilisation des eaux usées traitées (REUT). Dans les pays en développement tel que le Maroc, la REUT est la méthode la plus convenable. Cette réutilisation nécessite d'abord un traitement des EU dans les stations d'épuration.

**CHAPITRE 2 :**  
**LES STATIONS D'EPURATION ET LES**  
**DIFFERENTES TECHNIQUES DE**  
**TRAITEMENT**

Le réseau d'assainissement au Maroc collecte les eaux usées issues d'usages domestiques, industriels ainsi que les eaux pluviales rejetées dans les égouts pour les faire passer à un module de dépollution des EU qu'on appelle STEP. Cette installation permet d'avoir une eau usée traitée propre et sans danger en éliminant les éléments qui peuvent empêcher sa réutilisation et son recyclage.

### ❖ Partie 1 : Les stations d'épuration au Maroc :

Une STEP est installée généralement à l'extrémité d'un réseau de collecte. Elle rejette l'eau épurée dans le milieu naturel ou bien la redirige à un usage planifié. Elle regroupe une succession de dispositifs, empruntés par les eaux usées. Les STEP diffèrent en fonction de plusieurs facteurs :

- La localisation
- Le budget consacré pour le projet
- Le débit des eaux traitées
- Le procédé utilisé
- Le niveau du traitement visé
- L'objectif de l'épuration.

#### 1. Catégories des stations d'épuration au Maroc :

Le Maroc dispose d'un nombre considérable de STEP dans les centres urbains et ruraux, et on peut les classer en fonction du procédé principal utilisé dans le traitement :

##### ● Lagunage :

<p><b><u>La STEP de Errachidia :</u></b> Elle appartient à la région de: Drâa-Tafilalet destinée à l'assainissement collectif des eaux usées de la ville, avec un débit de 7520 m<sup>3</sup>/jour pour servir presque 91 745 habitants. (Hamid et al. 2014)</p>	<p><b><u>La STEP de Benslimane :</u></b> est localisé dans la région de Casablanca- Settat. La technologie de traitement des EU proposée pour cette ville comportait en plus d'un lagunage aéré classique (Etienne, Lopez-ferber, and Bregeon 2010). Elle traite un débit de 3 600 m<sup>3</sup>/jour pour occuper 40 000 habitants (Fethi et al., n.d.).</p>
	

**Figure 13** STEP d'Errachidia (ONEP)

**Figure 14** STEP Benslimane

- **Boue activée :**

**La STEP de Dakhla :** appartient à la région Oued Edd-Dahab avec un débit de 10.000 m<sup>3</sup>/jour pour 130 000 habitants (2014).

**La STEP de Al Hoceima :** appartient à la région de Tanger –Tétouan- Al Hoceima avec un débit de 9 600 m<sup>3</sup>/jour pour 108 600 habitants. Cette station est chargée de traiter les eaux usées urbaines, industrielles (rares) et pluviales provenant de l'activité de la population. (“Elevo”)



**Figure 15 STEP Dakhla (ATNER)**

**Figure 16 STEP Al Hoceima (ATNER)**

- **Infiltration et percolation :**

**La STEP de M'zar :** appartient à la région de Sous Massa et elle effectue l'épuration par U.V d'une capacité de 30 000 m<sup>3</sup>/jour, elle repose sur le système de traitement par décantation anaérobie suivi de traitement par infiltration-percolation sur sable (2018).

**La STEP de Ben Sergaou :** est la station-pilot des traitements à la grande ville d'Agadir et elle suit le même principe que la STEP de M'zar.



**Figure 17 STEP M'Zar (BIO GROUP UV)**



**Figure 18 STEP de Ben Sergaou (Ministère de l'aménagement)**

- **Lit bactérien :**

**La STEP de Elkalaa Des Sraghna :** appartient à la région de Marrakech- Safi assure le traitement avec un débit de 8 300 m<sup>3</sup>/jour pour servir 150 000 habitants.

**La STEP de Zaïo :** appartient à la région de Rif Oriental avec un débit de (2454 m<sup>3</sup>/jour)



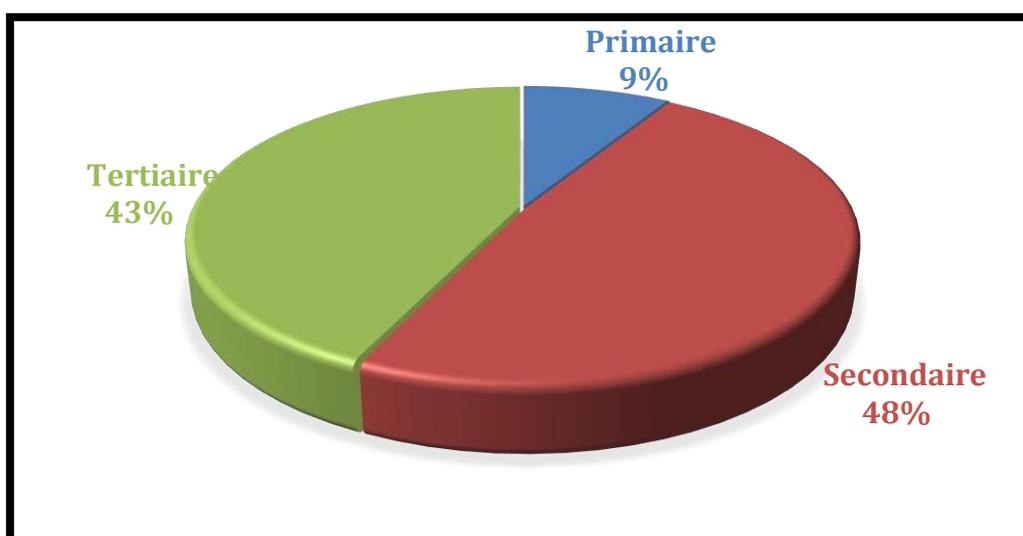
**Figure 19** STEP Elkalaa Des Sraghna (ATNER)



**Figure 20** STEP Zaïo (ATNER)

Les nouvelles STEP au Maroc sont de plus en plus équipées de procédés de traitement biologique intensif (lits bactériens et boues activées) au détriment du lagunage. Le lit bactérien est un choix très intéressant vu son efficacité satisfaisante, sa faible consommation en énergie et son exploitation assez simple surtout pour les petites communes.

Le diagramme suivant donne l'ensemble des STEP figurant dans (Tableau 4, 5 et 6) par niveau de traitement :



**Figure 21** Répartition des STEP par niveau de traitement au Maroc

Au Maroc, la grande majorité des STEP (48%) sont dotées d'un système de traitement secondaires des EU, tel que la STEP de Tafoughalt (Région de Berkane) avec un débit de 180 m<sup>3</sup>/jours ainsi que la STEP de Fès avec 155400 m<sup>3</sup>/jr.

Tandis que 43% des stations ont poussé le traitement au niveau tertiaire pour permettre la réutilisation des eaux traitées. On cite comme exemple la STEP de Chefchaouen d'une capacité de 100000 m<sup>3</sup>/jr.

De plus, seulement 9% des STEP au Maroc s'arrêtent au niveau primaire du traitement comme la STEP de KHEMISSSET qui a une capacité de 87 m<sup>3</sup>/jr.

Les tableaux suivants résument la répartition des STEP selon les procédés et les niveaux de traitement d'après le ministère de l'énergie, des mines et de l'environnement (2014) :

**Tableau 4** Répartition des STEP selon le traitement primaire ("Liste Des STEP Achevées 2014".)

Province	Centre	Procédé de traitement	Niveau de traitement	Débit (m <sup>3</sup> /j)
LAAYOUN	TARAFAYA	Lagunage naturel	Primaire	800
FIGUIG	BOUARFA	Lagunage naturel		1422
KHEMISSSET	SIDI ABDERRAZAK	Lagunage naturel		87
TATA	AKKA	Lagunage naturel		380
	FOUMZGUID	Lagunage naturel		210
	TAFRAOUT	Lagunage naturel		312
AL HOCEIMA	TARGUIST	Lagunage naturel		1200
MEKNES	MEKNES	Lagunage naturel		10000
	AL MACHOUAR-STINIA	Raccordement avec la STEP de MEKNES		
	TOULAL			
	OUISLANE			
	HAJ KADDOUR			
AGADIR	AGADIR (STEP ANZA)	Prétraitement +traitement primaire+	30500	

**Tableau 5** Répartition des STEP selon le traitement secondaire :

Province	Centre	Procédé de traitement	Niveau de traitement	Débit (m <sup>3</sup> /j)
TAN-TAN	EL OUATIA	Lagunage naturel	Secondaire	721
	TAN-TAN	Lagunage naturel		7870
S. IFNI	LAKHSAS	Lits bactériens		220
	SIDI IFNI	Lagunage naturel		1617
BOUJDOUR	BOUJDOUR	Lagunage naturel		6500
LAAYOUNE	EL MARSA	Infiltration percolation		1200
MARRAKECH	LOUDAYA	Lagunage naturel		723

AL HAOUZ	TAMESLOHTE	Lagunage naturel	Secondaire	864
CHICHAOUA	CHICHAOUA	Lagunage naturel		3456
	SID L'MOKHTAR	Lagunage naturel		408
	IMINTANOUTE	Lits bactériens		1720
ESSAOUIRA	ESSAOUIRA	Lagunage naturel		9250
KHENIFRA	KHENIFRA	Lits bactériens		12000
	M'RIRT	Lagunage naturel		1800
AZILAL	AZILAL	Lagunage naturel		2800
BNIMELLAL	ZAOUIAT CHEIKH	Lagunage naturel		3150
ERRACHIDIA	BOUDNIB	Lagunage naturel		513
	ARFOUD	Lagunage naturel		1600
	MOULAY ALI CHRIF	Lagunage naturel		1180
	ER-RISSANI	<b>Raccordement avec STEP MOULAY ALI CHRIF</b>		
MIDELT	MIDELT	Lagunage naturel		4100
OUARZAZATE	OUARZAZATE	Lagunage naturel		9011
	TABOUT	<b>Raccordement avec STEP OUARZAZAT</b>		
TINGHIR	KALAAT MAGOUNA	Lagunage naturel		620
	TINGHIR	Lagunage naturel		3000
ZAGORA	ZAGORA	Lagunage naturel		2000
BOULEMANE	IMOUZZER	Lagunage naturel		950
	OUTAT EL HAJ	Lagunage naturel		880
TAOUNAT	TAOUNAT	Lagunage naturel		2500
IFRANE	AZROU	Lits bactériens		3900
TAZA	OUED AMLIL	Lits bactériens		1261
	TAHLA	Lagunage naturel	1900	
EL HAJEB	EL HAJEB	Lits bactériens	2270	
	AIN TOUJDA	Lagunage naturel	1500	
BERRECHID	EL GARA	Lagunage naturel	1384	
SETTAT	BEN AHMED	Lagunage naturel	1830	
MOHEMMADI A	ECHALLALATE	Lits bactériens	2800	
ASSA-ZAG	ASSA	Lagunage naturel	1350	

GULMIM	BOUIZAKRANE	Lagunage naturel	Secondaire	1016
NADOR	AL AAROUÏ	Lagunage naturel		1378
	RAS EL MA	Lagunage aéré		1455
	ZAIO	Lits bactériens		2454
BERKANE	BERKANE	Lagunage naturel		13000
	BOUHDILA	Raccordement avec STEP BERKANE		
	SIDI SLIMANE			
	ZEGZEL			
	TAFOUGHALT	Lits bactériens		180
DRIOUCH	BEN TALEB	Lagunage naturel		560
	MIDAR	Lagunage naturel		874
FIGUIG	TALSINT	Lagunage naturel		220
JERADA	JERADA	Lagunage aéré		2030
TAOURIRT	DEBDOU	Lagunage naturel		378
GUERCIF	GUERCIF	Lagunage naturel		5400
KENITRA	SOUK EL ARBAA	Lagunage naturel		7000
S. KACEM	DAR GUEDDARI	Lagunage naturel		700
	HADKOURT	Lagunage naturel		550
	MECHRAA BEL KSIRI	Lagunage naturel		2600
	SIDI KACEM	Lagunage naturel		7600
S. SLIMANE	SIDI YAHYA EL GHAREB	Lagunage naturel		3700
KHEMISSET	KHEMISSET	Lagunage aéré		12200
SKHIRATE-TEMARA	SIDI YAHYA ZAER	Lagunage aéré		3150
TATA	FAM EL HISN	Lagunage naturel		400
	TATA	Lagunage naturel		980
CHTOUKA AB	AIT BAHA	Lagunage naturel		398
TAROUDANN	AIT IAAZA	Lagunage naturel		1100
	OULAD TEIMA	Lagunage naturel	6000	
	OULAD BERHIL	Lagunage naturel	1530	
FES	FES	Boues actives	155400	
	OULAD TAYEB	<b>Raccordement avec STEP FES</b>		
AGADIR	BEN SERGAOU	Décantation +Filtration sur sable	750	
ERRACHIDIA	TINEJDAD	Lagunage naturel	600	

**Tableau 6 Répartition des STEP selon le traitement tertiaire :**

Province	Centre	Procédé de traitement	Niveau de traitement	Débit (m <sup>3</sup> /j)
O. ED-DAHAB	DAKHLA	Boues activées	Tertiaire	10000
IFRANE	IFRANE	Boues activées		8900
MEKNES	M'HAYA	Lagunage aéré (OXYLAG)		301
BERRECHID	BERRECHID	Lagunage naturel		16000
SETTAT	EL BOROUJ	Lagunage naturel		1285
BENSLIMANE	BOUZNIKA	Lagunage naturel		5070
KHOUREBGA	BEJAAD	Lagunage naturel		3300
	KHOUREBGA	Boues activées		18000
	OULED ABDOUNE	Raccordement avec STEP Khouribga		250
	OUED ZEM	Lagunage		5600
	OUAOUIZEGHT	Lagunage naturel		541
B. MELLAL	AGHBALA	Lagunage naturel		740
	EL KSIBA	Lagunage naturel		1500
	ERRACHIDIA	Lagunage aéré		7520
GUELMIM	GUELMIM	Lagunage naturel		7848
YOUSOUFIA	YOUSOUFIA	Boues activées		3387
	EHEMMAIA	Lagunage naturel		1452
	AMIZMIZ	Lagunage naturel		850
EL KALAA DES SRAGHNA	EL KALAA DES SRAGHNA	Lits bactériens		8400
REHAMNA	BEN GUERIR	Boues activées		7000
NADOR	NADOR	Boues activées		20600
	JAADAR	Raccordement avec STEP de Nador		
	BOUIZAZAREN			
	IHADDADENE			
BERKANE	SELOUANE		Lagunage naturel	1500
	KARIAT AREKMANE			
	SAIDIA	Lagunage aéré		

OUJDA-ANGAD	BNI DRAR	Lagunage naturel	<b>Tertiaire</b>	860
	TAOURIRT	Lagunage naturel		5400
AGADIR	DRARGUA	Infiltration percolation		1000
TIZNIT	TIZNIT	Lagunage naturel		4900
CHEFCHAOUEN	CHEFCHAOUEN	Boues activées		10000
AL HOUCEIMA	AL HOUCEIMA	Boues activées		9600
	IMZOUREN	Lagunage naturel		5415
	BEN BOUYACH	Raccordement avec STEP d'IMZOUREN		
B. MELLAL	B. MELLAL	Lits bactériens		17500
BERRECHID	SIDI RAHAL CHATAI	Lagunage naturel		3000
	HAD SOUALEM	Lagunage naturel		2000
	SAHEL OULAD H'RIZ	Raccordement avec STEP de HADSOUALM		
	DEROUA	Lagunage naturel		3000
SETTAT	SETTAT	Lagunage naturel		13500
	OULAD SAID	Lagunage naturel		250
	SIDI EL AIDI	Boues activées		100
	RAS EL AIN	Lagunage		300
EL JADIDA	AZEMMOUR	Lagunage		5275
	OULAD FREJ	Lagunage naturel		2000
S. BENNOUR	LOUALIDIA	Lagunage aéré		4900
	ZEMAMRA	Lagunage naturel		2580
MARRAKECH	MARRAKECH	Boues activées + désinfection par UV		110000
OUJDA-ANGAD	OUJDA	Lagunage aéré		40000
AGADIR IO	AGADIR M'ZAR	Infiltration et percolation +désinfection par UV		30000
INEZGANE	AIT MELLOUL	Raccordement avec STEP D'AGADIR		
	DCHEIRA	Raccordement avec STEP D'AGADIR		
	INEZGANE	Raccordement avec STEP D'AGADIR		
KHOURIBGA	BINI ZRANTEL	Lagunage naturel		820
EL KALAA DES SRAGHNA	LAATAOUIA	Chenal algal	1300	
REHAMNA	N'ZALAT LAADAM	Lagunage naturel	750	
BENSLIMANE	BENSLIMANE	Lagunage naturel	5600	

## **2. Les capacités des STEP au Maroc :**

Depuis le lancement du PNA, un total de 153 stations de traitements d'EU d'une capacité totale de 3,38 millions de m<sup>3</sup> par jour a été réalisé, (ministère de l'intérieur). Le taux de traitement est passé de 7% en 2006 à 56% en 2020.

45 millions de m<sup>3</sup> des eaux traitées ont été mobilisés dont 23 millions sont réutilisés dans l'irrigation des golfs et des zones vertes.

## **3. Les domaines d'utilisation :**

Des divers secteurs au Maroc nécessitent une gouvernance des ressources en eau extrêmement prudente et interactive. Une méthode qui va couvrir les besoins hydriques de chaque domaine avec un budget raisonnable devient essentielle. La REUT est l'une des pratiques adoptées pour réaliser ces objectifs. Chaque STEP produit des EUT adaptées à l'usage qui doit en être fait. L'eau traitée destinée à la réutilisation peut être revendue à un prix inférieur à celui du m<sup>3</sup> d'eau potable afin de dynamiser le tissu économique, et ainsi faire baisser la facture pour les usagers tout en créant de nouveaux emplois. Parmi les domaines concernés par le recyclage des EUT :

- **Agriculture** : On peut arriver à la productivité agricole sans engrais artificielles. Une grande diversité de types de cultures est concernée par cette réutilisation, on cite les cultures fourragères consacrées pour l'alimentation des animaux, les cultures maraîchères (la culture des végétaux Bio), arboriculture (la culture des arbres fruitières).
- **Arrosage** : Dans les régions qui se caractérisent par des hectares d'espaces verts municipaux la REUT devient importante. On donne l'exemple de l'arrosage du golf royal de Tanger géré par la STEP Boukhalef, qui met en relief la stratégie de l'économie verte à l'horizon 2030 et en même temps améliore ce secteur touristique.
- **Production d'énergie** : Certaines STEP utilisent le principe de la méthanisation après digestion de la boue grâce aux bactéries qui se nourrissent de la boue biologique, pour produire de l'énergie sous forme de biogaz (CH<sub>4</sub>), qui peut être aisément valorisé sous forme d'énergie électrique ou thermique, c'est notamment l'exemple de la STEP de Marrakech.

- **Activité minière :** L'OCP consomme une quantité énorme d'eaux souterraines pour le lavage du minerai, pour cette raison il préfère utiliser les EUT ce qui permet une meilleure économie d'eau et du coût du lavage.

## ❖ **Partie 2 : Etapes de traitement et indicateurs de qualité :**

### **1. Etapes du traitement :**

Les EU sont chargées de différents polluants de nature chimique (organique et minérales) et de nature biologique (bactéries, virus, etc.). Par conséquent ces eaux usées ne peuvent pas être réutilisées ou rejetées dans le milieu naturel directement, du fait qu'elles sont responsables de la dégradation de l'environnement ainsi que des risques sanitaires.

Ainsi pour limiter tout risque d'infection ou de contamination par les éléments pathogènes, ces eaux doivent subir une série de traitements spécifiques qui diffèrent selon le type d'usage ciblé. On peut classer ces traitements en 4 catégories :

- **Prétraitement :**

Toute station de traitement doit d'abord assurer un prétraitement au début qui se base sur des méthodes mécaniques ou physiques qui ont pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers tel que les sables, graviers et les graisses. Ce traitement se fait en trois étapes :

#### Dégrillage :

À l'entrée d'une STEP, le premier élément qu'on trouve est un dégrilleur. Il s'agit d'une grille composée de barreaux qui vont retenir les matières les plus volumineuses lorsqu'on laisse passer l'eau brute au travers. Les déchets de dégrillage sont souvent brûlés ou envoyés en décharge.

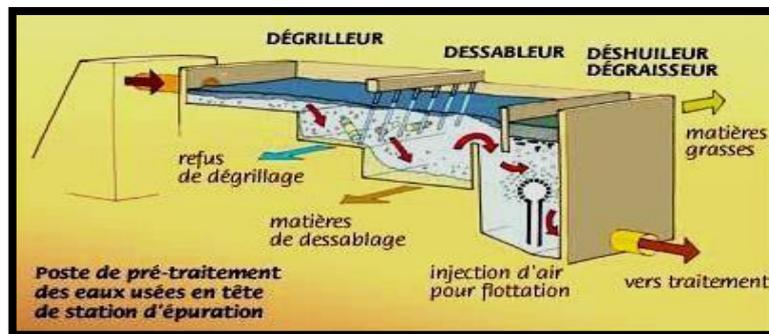
#### Dessablage :

S'effectue sur des particules de dimensions supérieures à 200  $\mu\text{m}$ , généralement des sables et graviers. L'eau passe par un canal à une vitesse de 0,3 à 0,2 m/s, ainsi ces particules tombent au fonds grâce à leurs poids par sédimentation et puis lavées. Ces derniers sont soit mis en décharge soit réutilisés selon la qualité du lavage.

#### Déshuilage-Dégraissage :

Son principe se base sur l'extraction de toutes les matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau comme les graisses, qui peuvent affecter la qualité des traitements biologiques qui interviennent ensuite. Dans une zone d'aération on injecte des bulles d'air qui vont permettre la

remontée en surface des corps gras qui seront récupérés après dans une zone de tranquillisation puis envoyés en décharge ou incinérés.



**Figure 22 Etapes du pré-traitement** (Les Principes de Base de l'épuration Des Eaux Usées)

- **Traitement primaire :**

Décantation :

Le traitement primaire est un procédé physico-chimique qui élimine plus que la moitié de la matière en suspension (MES) minérale et organique et constitue une partie d'épuration non-négligeable. Il fait appel d'abord aux processus chimiques et physique qui permettent aux MES de se déposer, par décantation primaire, sous l'effet de la gravité basée sur une séparation entre les éléments solides et liquides. Cette opération se fait grâce à un décanteur sous forme d'un bassin à flux, de grande dimension, qui fait piéger une première partie de la pollution et dépose au fond de l'ouvrage une boue primaire.

La décantation peut être améliorée par l'adjonction de produits chimiques tels que les sulfures, les chlorures et des agents de coagulation. C'est ce qu'on appelle la technique de floculation qui permet de capter jusqu'à 60% de MES et on obtient à la fin un surnageant avec une réduction d'environ 30% la DBO et la DCO (Jaziri, Casellas, and Dagot 2012).

Récupération de la boue :

La boue primaire constitue le déchet principal produit par la STEP, Elle est composée essentiellement de la matière minérale en suspension et fortement chargée en MO brute très fermentescible. Ces éléments portent ainsi le nom de sédiments résiduels.

Pour bénéficier de cette boue, un recyclage est mis en place, après une stabilisation elle est pompée par la suite vers un lit de séchage de boues pour la déshydratation et pour réduire de manière significative son volume et son poids favorisant ainsi sa valorisation.

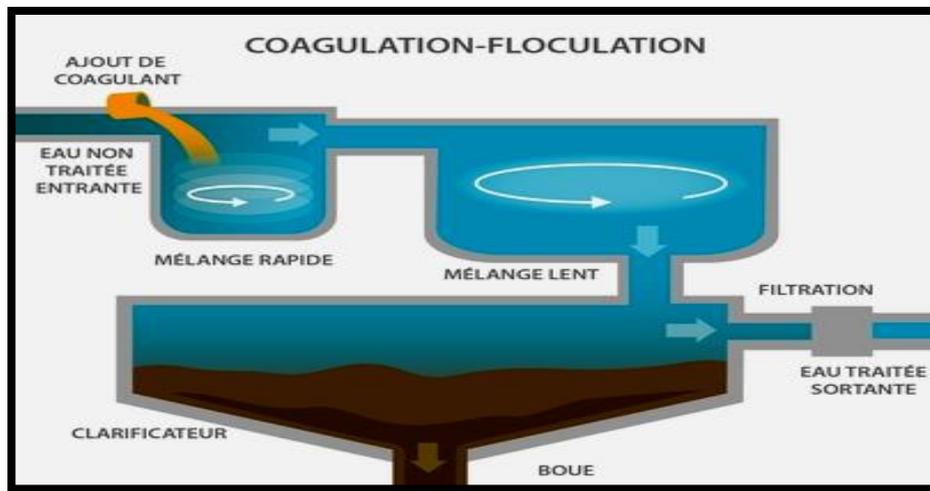


Figure 23 : Schéma de principe des étapes du traitement primaire (*Traitement physico-chimique*)

- **Traitement secondaire :**

Le traitement secondaire, vise surtout les polluants dissous tel que l'azote et le phosphate en se basant sur des méthodes biologiques, d'où le nom de traitement biologique. Usant l'activité des microorganismes capables de consommer ces polluants on reproduit donc un phénomène naturel qui est l'autoépuration. On distingue différents types de procédés biologiques :

Les boues activées :

C'est un système d'épuration aérobie où on a un mélange des EU, des bactéries et de l'O<sub>2</sub> dans des bassins aérés et brassés. Ces bactéries transforment la MO en carbone formant ainsi dans des bassins clarificateurs des boues secondaires qui sont après envoyés vers un clarificateur ou décanteur secondaire pour séparer les eaux traitées de la biomasse. Une partie de ces boues est soit éliminée soit réutilisée en agriculture comme fertilisant, l'autre partie est recyclée et retourne dans les bassins pour éviter les pertes de bactéries (Rozen-rechels 2014). Ce traitement élimine 85 à 95% de la DBO<sub>5</sub> (*La Qualité de l'eau et Assainissement*).

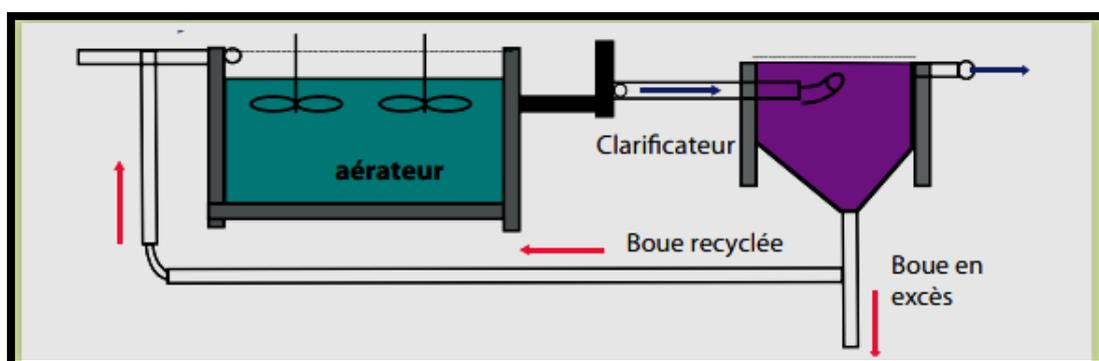
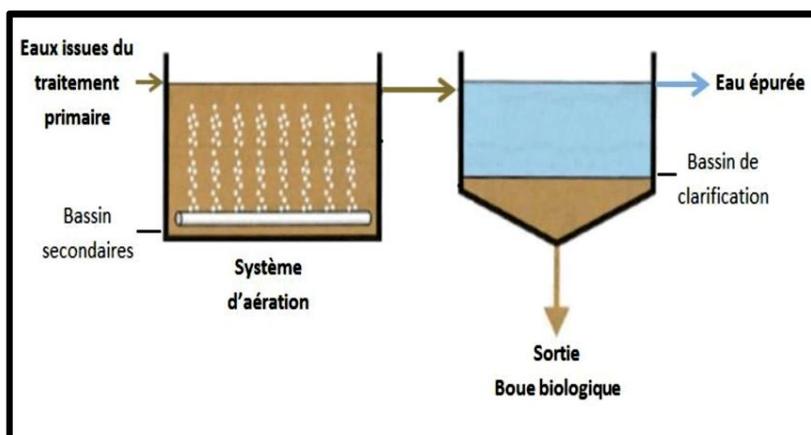


Figure 24 Dispositif du traitement par boues activées (M.Equipement)

Les lits bactériens :

C'est un traitement aérobie à biomasse libre qui consiste à ruisseler l'eau sur un support solide où se développe des microorganismes, qui peuvent être des bactéries ou des champignons, c'est ce qu'on appelle "film biologique". La dégradation de la MO se fait avec absorption par les microorganismes. En

sortie du lit bactérien on reçoit un mélange d'EUT et de bio film qui est envoyé vers un décanteur secondaire sous forme de boue, et l'eau traitée peut rejoindre le milieu naturel. Le rendement de ce traitement est l'élimination de 90% de la DBO5.



**Figure 25 : schéma explicatif du traitement par lits bactériens (Thiene 2019)**

#### Le lagunage naturel :

Le traitement par lagunage se fait selon une série de bassins artificiels peu profonds où sont déversés les EU, le temps de séjours est assez long. La surface de ces plans d'eau est exposée à la lumière ce qui permet la production de l'oxygène nécessaire au développement des bactéries responsables de la dégradation des polluants organiques. Au fond des bassins où on a absence de lumière, ce sont les bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments décantés. L'étanchéité de ces bassins doit être bien réalisée sinon plusieurs problèmes peuvent se pose tel qu'un mauvais remplissage des lagunes ce qui va mener à une contamination de la nappe phréatique. Ce traitement est moins couteux, ne consommepas d'énergie et ne demande pas de personnel qualifié, toutefois il présente quelques inconvénients puisqu'il exige des surfaces importantes et l'élimination de l'azote et phosphates n'est pas complète soit 20 à 30%(GEB-Environnement 2008).



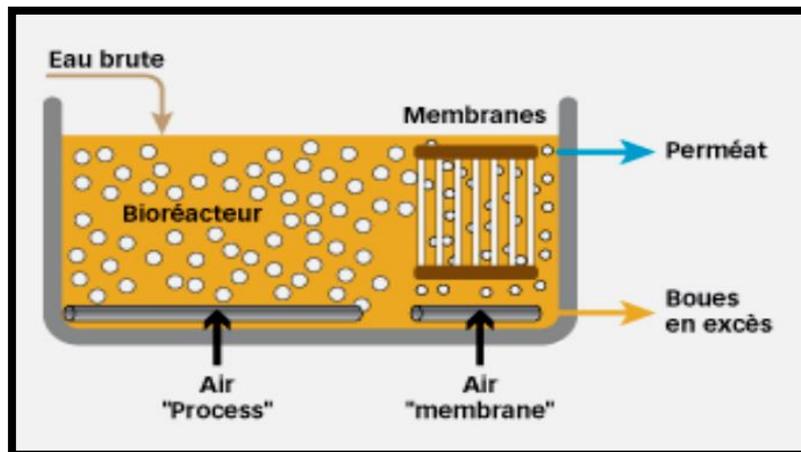
**Figure 26 : STEP d'Errachidia**

### Les bioréacteurs à membranes :

Il s'agit d'une filtration membranaire où on sépare les boues d'épuration des EUT, en effet les membranes constituent une barrière qui retient les virus, les bactéries et d'autres molécules de grandes tailles, tandis que le bioréacteur dégrade la MO.

Ce traitement est rarement utilisé au Maroc, la première station de traitement de type membranaire était créée en 2013 à Casablanca pour traiter le EU de Médionna (Hebabaze et al. 2016).

De nombreuses STEP au Maroc s'arrêtent à ces niveaux de traitement, les EUT peuvent ainsi rejoindre le milieu naturel. Par contre si on vise la réutilisation de ces eaux il est nécessaire d'avancer vers un traitement tertiaire pour éliminer les éléments dissous que les bactéries n'ont pas complètement décomposé comme l'azote et le phosphore tel que sa forme orthophosphate.



**Figure 27 : schéma d'un bioréacteur à membranes (Oumar Thiene 2018)**

- **Traitement tertiaire :**

Après son traitement biologique, l'eau est devenue claire, mais un traitement de finition est nécessaire pour améliorer les caractéristiques de l'eau en fonction de l'objectif désiré, car elle contient encore de minuscules particules et des éléments pathogènes. Parmi les méthodes utilisées on cite :

#### Élimination de MO et MES :

Cette opération se fait par une filtration pour abattre la MO et les MES en se basant sur un milieu granulaire (filtration sur sable), ce matériau filtrant est le plus approprié. Pendant que l'eau traverse le lit sableux, la qualité de l'eau s'améliore en éliminant tout type de micro-organisme. Une percolation-décantation supplémentaire est parfois utilisée. Il s'agit de décantations par floculation grâce à l'injection de polymères ou de sels coagulants.

#### Élimination du phosphore et de l'azote :

Une élimination poussée des nutriments comme le phosphore et l'azote doit seulement être mise en place

pour certaines réutilisations. En effet, lors d'une réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation, il est judicieux de conserver les éléments nutritifs présents dans les EUT en quantités désirées. Le concept alliant irrigation et fertilisation, nommé « fertirrigation », prend actuellement de plus en plus d'ampleur. Cependant, pour les autres utilisations, l'élimination de la pollution azotée et phosphorée est indispensable afin d'éviter tout risque d'eutrophisation.

**Élimination du phosphore :** Il existe plusieurs méthodes pour éliminer le phosphore des eaux usées. Les deux principales voies utilisées sont la voie physico-chimique, en faisant une précipitation du sel formé par les ions orthophosphates lors de l'ajout d'un sel métallique (chlorure ferrique par exemple) au sein de la suspension, le précipité formé de phosphate de fer est ensuite éliminé par une étape de séparation. Aussi, on trouve la voie biologique, Dans ce type de purification de l'eau, certaines algues ou espèces bactériennes se nourrissent des éléments phosphorés dans les EU. Ainsi, le taux du phosphore est réduit avec production de gaz carbonique.

**Élimination de l'azote :** Les EU portent souvent l'azote sous sa forme organique. En présence des bactéries, une nitrification est mise en place, elle transforme l'azote organique en Ammonium après il passe à sa forme nitrite et termine par la transformation en nitrate. La dénitrification est généralement l'étape qui suit la nitrification. Les nitrates et les nitrites sont transformés en azote qui s'échappe de l'eau dans l'air.

**Élimination des pathogènes :**

Dans le but d'inactiver les germes pathogènes on peut utiliser le rayonnement Ultraviolet, ce mode de désinfection des EU consiste à faire passer les eaux dans un canal ouvert muni de lampes à rayons ultraviolets. Il s'agit d'une technologie utilisée dans certaines STEP au Maroc, notamment celle de Marrakech. Comme on peut injecter du chlore directement dans les EU. Cet oxydant très puissant permet l'élimination de la plupart des microorganismes même à faibles doses. Cette opération a des effets toxiques vis-à-vis de la vie aquatique c'est pour cela qu'on ajoute du bioxyde de soufre pour éviter les effets indésirables, c'est la déchloration.

## 2 Indicateurs et paramètres de qualité :

**Tableau 7** Différents indicateurs de qualité utilisés dans une station d'épuration :

Paramètres	Signification	Intérêts de mesure
<b>MES</b>	Les matières en suspensions sont les particules minérales ou organiques non dissoutes dans le liquide.	Ces éléments sont généralement responsables de la dégradation de l'environnement c'est pourquoi cet indicateur est fréquemment utilisé pour déterminer la qualité des eaux dans les STEP.
<b>DBO5</b>	Demande biologique en oxygène sur 5 jours. C'est la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes en 5 jours.  Elle caractérise la MO biodégradable	Ce paramètre permet de quantifier la charge polluante organique d'une eau et évaluer l'intensité du traitement nécessaire à l'épuration.
<b>DCO</b>	Un paramètre qui représente toutes les substances susceptibles à consommer l'oxygène dans l'eau. Ce qui donne donc une idée sur le contenu organique et inorganique dans une eau usée.	Il est utile en termes d'assainissement puisqu'il permet de quantifier les polluants dans une eau et suivre ainsi la performance de l'épuration dans une STEP et également diminuer l'effet des effluents sur le milieu récepteur.
<b>NH3 et NH4+</b>	La dissolution du gaz ammoniacal NH3 dans l'eau donne le cation NH4+ c'est ce qu'on appelle la répartition ammonium/ammoniac	La mesure est utilisée pour déterminer la fraction oxydée de la pollution azotée
<b>NO2- et NO3-</b>	L'ammonium se transforme en nitrite NO2- puis en nitrate NO3-.	
<b>NTK/NK</b>	C'est la somme de l'azote organique et azote ammoniacal contenu dans l'eau  <b>N org + (NH4+) = Azote Kjeldahl</b>	Il donne une idée sur la pollution azotée d'origine humaine.
<b>NGL</b>	C'est l'azote total qui constitue la somme de toutes les formes d'azote  <b>NGL = NTK + NO2 + NO3</b>	Il permet de mesurer la pollution azotée totale d'un effluent
<b>Pt</b>	Phosphore total est l'ensemble du phosphore présent dans un échantillon sous forme de phosphate ou de composés orthophosphorés (Forme organique et minéral),	Puisqu'il a la capacité de favoriser la croissance des plantes, il peut parfaire l'eutrophisation en présence de NO3 c'est pour cela qu'il est important de le mesurer pour éviter la pollution de l'eau.
<b>OD</b>	La quantité d'oxygène présente en solution à une température donnée.	Suivre la quantité de la MO dans l'eau et connaître l'état de l'oxydation.

➤ **Conclusion** :

Le Maroc est arrivé à un stade de maturation dans l'installation des STEP en pratiquant des procédés de plus en plus efficaces qui aboutissent à une performance en termes de rendement et résultats. Le traitement de REUT est devenu intéressant non seulement en termes de protection de l'environnement mais aussi dans le développement de différents secteurs, à condition de vérifier tous les indicateurs de qualité nécessaires.

**Chapitre 3 :**  
**LA VALORISATION DES EAUX**  
**EPUREES DANS L'IRRIGATION**

Une nouvelle innovation au Maroc consiste à élaborer les espaces verts urbains et périurbains, vu les exigences de la maturité d'urbanisme il est obligé d'augmenter l'approche quantitative et qualitative des espaces c'est ce qu'on appelle le Plan Vert. Ce plan essaye d'améliorer l'aménagement des jardins et parcs publics ainsi que les golfs des villes marocaines. D'autre part le potentiel actuel des eaux usées traitées par les STEP est susceptible d'être utilisés sans restriction pour l'irrigation après un contrôle de qualité.

De plus, l'agriculture est un secteur majeur de l'économie marocaine. En dépit de cet effet significatif, il est le principal utilisateur des ressources naturelles y compris les ressources hydriques. Le Maroc dispose d'une surface agricole utile qui est estimée à 8 700 000 hectares soit 12,25% de la superficie totale du pays, contre 450000 en 2008. Cette augmentation est accompagnée d'une progression des surfaces à irriguer et d'une croissance de la demande en eau. D'autre part, la majorité de la superficie agricole utile (SAU) de notre royaume (83%) sont des zones d'agriculture pluviales. Vu le changement climatique et ses conséquences sur les ressources hydriques, l'activité agricole est fortement touchée par ce stress hydrique ce qui risque une diminution du rendement des cultures et leurs variabilités. Pour faire faces à ces défis, les deux stratégies de l'eau et de l'agriculture considèrent que la REUT en irrigation fait partie des stratégies efficaces pour une conservation des ressources en eau naturelles en fournissant une source d'eau non conventionnelle et renouvelable.

### **1 : les paramètres de qualité des eaux traitées destinées à l'irrigation**

La REUT nécessite un suivi qualitatif pour assurer une exploitation adéquate de ces eaux. C'est ainsi que cette réutilisation est soumise à des lois, tel que la loi sur l'eau article 51 et 84 (ANNEXE 2), qui exigent un contrôle de qualité avant l'irrigation afin de s'assurer que les normes établies sont respectées pour protéger non seulement les ressources naturelles et l'environnement mais aussi les ouvriers, le matériel d'irrigation et le consommateur en premier degré. Les normes sont représentées dans les tableaux suivants d'après la S.E.E.E (A. Maroc 2007)

#### **Paramètres bactériologiques :**

**Tableau 8** Valeurs limites des paramètres bactériologiques

Paramètre	Valeur limite
Coliformes fécaux	1000/100 ml*
Salmonelle	Absence dans 450 ml
Vibron Cholérique	Absence dans 450 ml

### **Paramètres parasitologiques :**

**Tableau 9** Valeurs limites des paramètres parasitologiques

Paramètre	Valeur limite
Parasites pathogènes	Absence
Œufs, Kystes de parasites	Absence
Larves d'Ankylostomides	Absence
Fluococercaires de Schistosoma hoematobium	Absence

### **Paramètres toxicologiques :**

**Tableau 10** Valeurs limites des métaux

Paramètre	Valeur limite
Mercure (Hg) en mg/l	0,001
Cadmium (Cd) en mg/l	0,01
Arsenic (As) en mg/l	0,1
Chrome total (Cr) en mg/l	1
Plomb (Pb) en mg/l	5
Cuivre (Cu) en mg/l	2
Zinc (Zn) en mg/l	2
Sélénium (Se) en mg/l	0,02
Fluor (F) en mg/l	1
Cyanures (CN) en mg/l	1
Phénols en mg/l	3
Aluminium (Al) mg/l	5
Béryllium (Be) en mg/l	0,1
Cobalt (Co) en mg/l	0,5
Fer (Fe) en mg/l	5
Lithium (Li) en mg/l	2,5
Manganèse (Mn) en mg/l	0,2
Molybdène (Mo) en mg/l	0,01
Nickel (Ni) en mg/l	2
Vanadium (V) en mg/l	0,1

### **Paramètres physico-chimiques :**

**Tableau 11** Valeurs limites des paramètres physico-chimiques

Paramètre	Valeur limite
Salinité totale (STD) en mg/l	7680
(CE*) en mS/cm à 25 °C	12
Infiltration	
Le SAR* = 0-3 et CE* =	<0,2
Le SAR* = 3-6 et CE* =	<0,3
Le SAR* = 6-12 et CE* =	<0,6
Le SAR* = 12-20 et CE* =	<1,3
Le SAR* = 20-40 et CE* =	<3

**SAR\* : Sodium Adsorption Ratio** : indice qu'on mesure pour déterminer la quantité de Sodium en EUT

**CE\* : Conductivité électrique** : paramètre qui consiste à mesurer la quantité des sels minéraux en solution dans les EUT

### **Ions toxiques (affectant les cultures sensibles)**

**Tableau 12** Valeurs limites de quelques sels minéraux

Paramètre	Valeur limite	
Sodium (Na) en mg/l	Irrigation en surface* (SAR**)	69
	Irrigation par aspersion*	9
Chlorure (Cl) en mg/l	Irrigation en surface*	350
	Irrigation par aspersion*	15
Bore (B) en mg/l		3

L'**irrigation par aspersion\*** : est un moyen polyvalent pour arroser n'importe quels types de cultures, de sols et de topographies (Schwab et al., 1993)

L'**irrigation en surface\*** : l'eau s'écoule librement sous l'action de la gravité et que les moyens sur le terrain de transport et de distribution sont la **surface** du champ (Walker, 1989)

## **Effets divers (affectant les cultures sensibles)**

**Tableau 13** Valeurs limites d'effets divers

Paramètre	Valeur limite	
Température °C	35	
pH	6,5 à 8,4	
MES en mg/l	Irrigation gravitaire	200
	Irrigation par aspersion localisée	100
Azote nitrique (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) en mg/l	30	
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) [Irrigation par aspersion] en mg/l	518	
Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) en mg/l	250	

### **2. Etudes préalables à la REUT dans l'irrigation :**

Avant tout type d'irrigation, on effectue une étude bien détaillée sur la nature des cultures, sols et de la composition générale d'EUT. Pour les cultures on s'intéresse à la tolérance vis-à-vis de la salinité. La quantité du sel est très importante pour évaluer si l'EUT convient pour l'irrigation (FAO 2003). Pour éviter les problèmes potentiels liés aux teneurs en sel, la FAO a déterminé des critères spécifiques en ce qui concerne la REUT destinée à l'irrigation.

Dans le domaine d'agriculture par exemple, les agriculteurs choisissent le système de culture le plus approprié en fonction de la salinité, ainsi le type de culture ayant une capacité d'absorption de quantité élevée de sel sans avoir des effets négatifs. Une salinité inférieure à 3 dS/m est une bonne valeur qui permet la production de la plupart des fruits et légumes, le système et la méthode d'irrigation utilisée peuvent aussi modifier ce paramètre. L'alcalinité est un autre paramètre qui présente un point important au niveau de l'étude du sol, de sa stabilité, sa structure et de sa perméabilité, ces paramètres sont sensibles aux types des ions échangeables présents dans l'eau d'irrigation. Si on a une concentration en Sodium (Na) élevée la perméabilité du sol diminue, surtout au niveau de la surface. Ce phénomène est lié au gonflement des argiles quand le taux de Sodium est élevé, on peut détecter ceci par la mesure de SAR. Pour corriger ce paramètre, on utilise la chaux (CaOH) comme produit qui va échanger le (Ca<sup>2+</sup>) avec (Na<sup>2+</sup>) en fonction de la capacité d'échange cationique CEC. La MO, les mini arroseurs et les goutteurs à faible débit peuvent également maintenir les valeurs d'alcalinité à ses états normaux (FAO2003).

Les sels minéraux eux aussi contrôlent le degré d'infiltration de l'eau dans le sol, les métaux lourds peuvent devenir des éléments toxiques pour quelques cultures c'est pourquoi il faut en tenir compte avant la réutilisation.

### 3. Types de la REUT en irrigation selon le niveau de traitement :

Le domaine d'utilisation des EUT en irrigation est déterminé selon le processus de traitement opéré. Ces eaux sont classées en catégories selon leurs niveau sanitaire qu'on détermine en se basant sur plusieurs paramètres tel que le taux des MES, la DCO et le taux d'Escherichia coli etc. Selon l'article 4 du décret n°1276-01 du 17 octobre 2002 : pour la délivrance des autorisations d'utilisation des EU conformément au décret n°2-97-875 du 4 février 1998 (**ANNEXE3**), l'agence de bassin doit se conformer aux critères représentés dans le tableau ci- dessous d'après le bulletin officiel 5 décembre 2002 :

**Tableau 14** Catégories des EUT et conditions de réutilisation en irrigation

CATEGORIE	CONDITION DE REALISATION	GROUPE EXPOSE	NEMATODES UNTESTINAUX a (moyenne arithmétique du nombre d'œuf par litre(b))	COLIFORMES FECAUX (moyenne géométrique du nombre par 100ml (b))	PROCEDES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulu
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics (c)	Ouvriers agricoles, consommateurs publics	Absence	≤ 1000 (d)	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre traitement équivalent
B	Irrigation de cultures céréalières industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbre (d)	Ouvriers agricoles	Absence	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassin de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé permettant une élimination équivalente des helminthes et des coliformes fécaux
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Aucun	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins une décantation primaire

- (a) Ascaris, Trichuris et ankylostomes.
- (b) Durant la période d'irrigation.
- (c) Une directive stricte (<200 coliformes fécaux par 100ml) est justifiée pour les pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.
- (d) Dans le cas des arbres fruitiers. L'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et aucun fruit tombé ne doit être ramassé. L'irrigation par aspersion est interdite.

Cet arrêté a pour objectif de fixer les conditions et les techniques adéquates pour la REUT à des fins agricoles ou pour l'arrosage des espaces verts. Toute personne souhaitant la réutilisation des EUT pour l'irrigation doit d'abord demander une autorisation qui est évaluée en sur la base de deux critères qui sont la qualité sanitaire des EUT et les caractéristiques de la zone à irriguée (pédologie, situation géographique, etc.).

#### **4. Pouvoir fertilisant des EUT :**

Dans un traitement d'eau usée, la fixation de l'objectif à réaliser est importante. Si on désire une réutilisation en irrigation on doit régler les besoins en nutriments PNK, ainsi qu'assurer un bon contrôle des sels minéraux surtout le ( $Mg^{2+}$ ) pour ne pas risquer d'avoir une salinité du sol.

Les composantes nutritives existantes dans les EUT possèdent un pouvoir fertilisant d'une part pour le sol et d'autre part pour la récolte ou la parcelle à irriguer. L'azote est impliqué dans la synthèse des acides aminés, il favorise la croissance des tissus végétaux, ce qui donne un facteur de rendement intéressant. Le phosphore constitue un transporteur d'énergie et il participe avec l'azote à la croissance de la plante notamment au développement des racines. Le potassium est nécessaire à la synthèse des protéines et à la photosynthèse, il est cependant nécessaire de signaler qu'un excès des macronutriments peut causer des dommages à l'environnement (Sou 2009). La connaissance de la teneur de ces éléments dans les EUT est primordial parce qu'elle permet une réutilisation adéquate des EUT. Le calcium, le magnésium, le soufre et le sodium sont aussi des éléments fertilisants mineurs nécessaires aux développements des cultures (F 2018).

#### **5. Expériences du Maroc dans la valorisation des EUT en irrigation :**

La stratégie nationale de l'eau élaborée en 2009, recommande que le plan national de REU fasse partie des axes stratégiques qui vont permettre au Maroc de faire face aux problèmes de raréfaction des ressources hydriques, en envisageant la réutilisation de 325Mm<sup>3</sup> d'EUT d'ici 2030 notamment dans l'irrigation des espaces verts, des parcours de golfs et à des fins agricoles (Union européenne 2016).

Ainsi depuis 2012, plusieurs projets de REUT pour l'arrosage des espaces verts et golfs ont vu le jour, surtout dans les villes souffrants le plus de stress hydrique, c'est le cas de la ville d'Agadir où un projet de REUT géré par la RAMSA estime la réutilisation d'un total de 13,48 millions de m<sup>3</sup> d'EUT en irrigation des golfs et espaces verts entre 2020 et 2030. Un autre exemple est la STEP de Ben Slimane qui a permis d'économiser presque 3000m<sup>3</sup> /jr d'eau potable en utilisant les EUT pour l'irrigation des golfs.

En agriculture, la direction de l'irrigation et de l'aménagement des espaces verts (DIAEA) à élaborer un plan directeur de réutilisation des EUT pour l'irrigation des cultures, son fonctionnement est en suspens ainsi seuls des projets d'études ont été déployés pour avoir idée sur l'efficacité des EUT dans ce secteur (Union européenne 2016), on en site :

- **Projet de Quarzazate** : Ce projet a permis de prouver la valeur fertilisante des EUT en comparant le rendement des cultures irriguées par les EUT, EUB et EP
- **Projet Ben-Sergao** : Débuté en 1991, ce projet à mener des études sur la production des tomates et des pommes de terre qui ont montré que le rendement est supérieur pour les cultures utilisant les EUT comme source d'irrigation par rapport celles recevant de l'eau conventionnelle avec une différence de 33,4%
- **Projet de Drarga** : Ce projet a un impact non seulement positif sur le milieu récepteur, mais il a permis aussi de valoriser l'EUT dans le secteur agricole. Après traitement, les EUT obtenues d'après la directive de l'OMS correspondent à la catégorie A qui permet l'irrigation des cultures dont les produits sont destinées à être consommées crues, un volume de 62000m<sup>3</sup> /jr a permis l'irrigation de 6 à 8 ha durant la campagne agricole 2000-2001. Le tableau suivant donne idée sur l'augmentation prévisible des rendement des cultures ciblées suite à l'irrigation avec des EUT (Soudi, Kerby, and Choukr Allah 2000).

Tableau 3: Rendements actuels et escomptés pour les principales cultures à promouvoir dans le projet de réutilisation des eaux usées épurées		
Culture	Rendement moyen actuel <sup>(1)</sup>	Rendement escompté <sup>(2)</sup>
Blé tendre	8 à 16 Qx/ha	40 Qx/ha
Maïs grain	10 à 15 Qx/ha	50 Qx/ha
Maïs fourrager	10 Qx/ha	20 Qx/ha
Bersim	Non pratiqué	30 Qx/ha
Courgette	Peu pratiquée	35 T/ha
Courge	5 à 10 T/ha	25 T/ha
Tomate	10 à 25 T/ha	55 T/ha
Pomme de terre	Très peu pratiquée	35 T/ha

(1) valeurs moyennes de rendements issues des enquêtes auprès des agriculteurs concernés, (2) valeurs moyennes des rendements obtenus par les agriculteurs performants moyenne en irrigué: pour les cultures maraîchères, seules les cultures en plein champ sont considérées. Qx: Quintaux, T: Tonne; ha: hectare

**Figure 28 :** Rendement des cultures après irrigation (Soudi, Kerby, and Choukr Allah 2000)

Cette étude de faisabilité était élaborée encore une fois en 2009, dans le cadre d'un programme environnemental appelé Pérennité des Ressources en Eau du Maroc (P.R.E.M), l'Agence américaine pour le développement international (USAID) et le Secrétariat d'État chargé de l'eau et de l'environnement ont financé le projet de la STEP des EU de la commune rurale de Drarga comme étant une station pilote pour traiter et recycler les EUT en irrigation agricole (Dadi 2014).

## **6. Bénéfices et inconvénients de la réutilisation :**

La valorisation des EUT en agriculture présente des bénéfices remarquables. En effet, elle permet de conserver les ressources en eau, d'après la FAO, recycler les EUT peut atténuer les problèmes de pénurie d'eau et réduire la pollution d'eau, tout en protégeant l'environnement par la réduction des rejets d'EU dans le milieu récepteur. Elle permet aussi de favoriser le tourisme des régions arides par l'irrigation des golfs.

D'autre part, la REUT joue un rôle important dans l'amélioration du rendement agricole vu que ces eaux sont non seulement indépendantes des conséquences du réchauffement climatique, mais aussi ilsont riches en éléments nutritifs qui ont un effet significatif sur la fertilité du sol. Ceci aura égalementdes avantages économiques pour les agriculteurs en réduisant à la fois le coût élevé du transfert des eaux fraîches et celui des engrais en utilisant les EUT comme source de nutriments moins coûteuse. Sur le plan social, en fournissant une ressource en eau renouvelables dans les zones les plus affectée par les stress hydriques, ce qui permet de limiter l'exode de population.

Malgré tous ces avantages, la REUT peut également avoir des impacts négatifs surtout ceux lié à la santé en cas de d'exploitation inapproprié et de mauvais contrôle. Ainsi que financièrement, le coût de traitement de ces eaux peut être très élevé, par exemple, si les MES sont présentes en grandes quantités elles peuvent causer des problèmes techniques sur les systèmes d'irrigation.

### **7. Exemple concret au Maroc :**

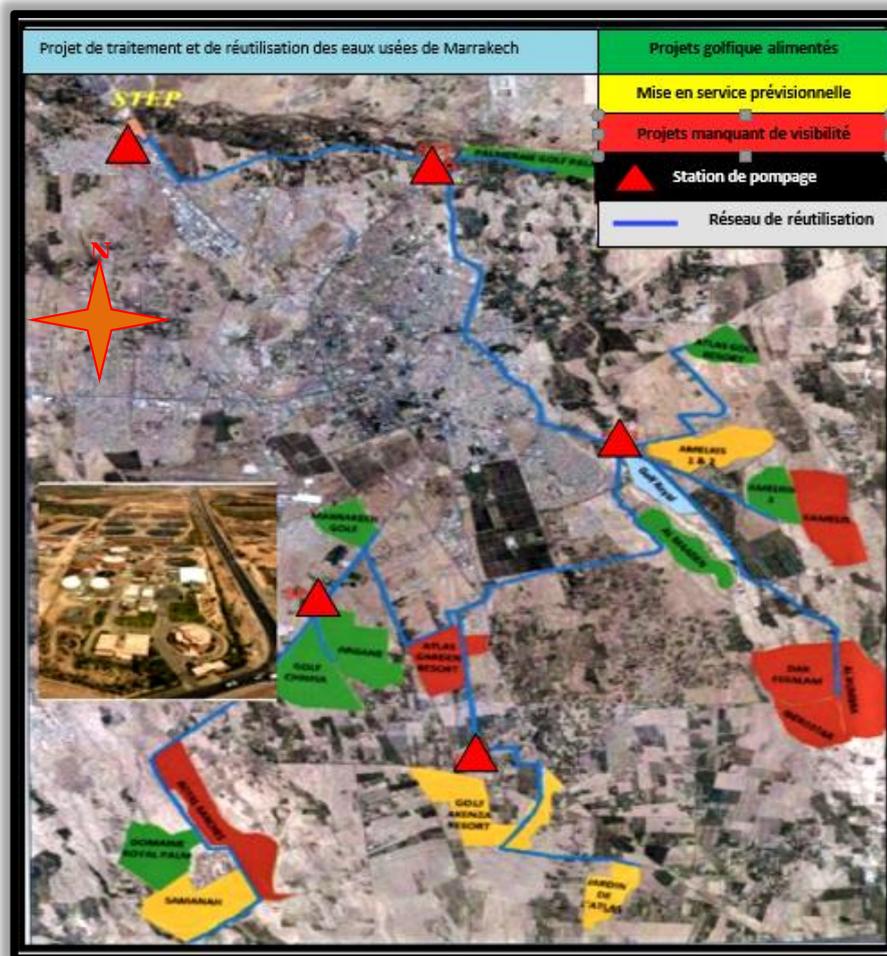
Marrakech est la 4<sup>ème</sup> ville du Maroc avec un peu plus d'un million d'habitant, ce qui rend le taux de production des EU très élevé. Avant 2008 ces eaux était rejetées sans traitement dans l'oued de Tensiftet dans le marais Oulja de la palmeraie. Après la construction de la STEP de Marrakech, sur la route de Safi, jusqu'à 40Mm<sup>3</sup>/an (RADEEMA) sont traitées avant leur rejet et ce n'est qu'en 2011 que la STEP a avancé ses traitement afin d'atteindre un niveau qui permet la REUT en irrigation, ainsi elle a adopté un procédé de traitement par boues activées suivis d'un traitement tertiaire par filtration rapide et désinfection UV ce qui a permis l'acheminement de 6Mm<sup>3</sup> (*"Marrakech Mise Sur Ses Golfs Verts - Le Point"*) des EUT pour irriguer les terrains de golfs, la palmeraie et les espaces verts urbains.



**Figure 29 :** Photo aérienne de la STEP de Marrakech (*"Le Traitement Des Eaux Usées de La Ville de Marrakech,"*)

Le projet de REUT pour l'irrigation des golfs de Marrakech a pour objectif l'arrosage de 18 golfs, actuellement seuls 8 réutilisent l'EUT, soit 44% du total, les autres golfs sont soit en cours de construction ou encore à l'état de projet. Cette installation d'épuration est dotée de 5 stations de pompages situées le long des parcours de conduites du nord vers le sud de la ville et 80Km de conduite reliant la STEP au projet golfique et palmeraie.

Malgré que le projet de REUT pour l'irrigation des golfs n'a pas atteint tous ces objectifs, il a joué un rôle important dans la réduction du stress hydrique du bassin de Tensift et dans la protection de l'environnement.



**Figure 30 :** Carte de situation des parcours de golfs et des ouvrages de distribution par rapport à la STEP de la ville de Marrakech (Union européenne 2016)

➤ **Conclusion :**

D'après les études réalisées sur la réutilisation des eaux traitées en irrigation, il est constaté que les eaux usées ne peuvent pas atteindre la même qualité d'une eau potable même après des traitements microbiologiques ou physico-chimiques.

Comme ces eaux traitées ne sont pas directement consommées, elles ne sont pas encore utilisées dans l'irrigation des plantations agricoles destinée à l'utilisation humaine.

## **CONCLUSIONS GENERALES**

Le Maroc n'a pas été épargné par le phénomène de la sécheresse et il s'est trouvé obligé d'améliorer ses stratégies afin d'éviter tous les risques et dangers futurs liés à la protection de l'environnement et au réchauffement climatique. Ce changement demeure, plus que jamais, important dans un contexte de croissance démographique et d'une surexploitation des ressources en eau.

C'est ainsi que le recours à la REUT est l'une des stratégies que le Maroc a adoptées afin de s'adapter aux conséquences liées au changement climatique, protéger les ressources hydriques tout en luttant contre la pollution liée au rejet des eaux usées.

Dans ce cadre, des efforts considérables ont été réalisés pendant ces dernières années, notamment, dans le domaine d'assainissement grâce au lancement du PNA qui a permis au Maroc d'avoir d'importantes infrastructures d'épuration des EU. Pour valoriser ces EUT un autre plan appelé PNREUT a récemment vu le jour.

Aujourd'hui, le Maroc a atteint un nombre important de STEP avec des niveaux et procédés de traitements qui diffèrent selon l'objectif de l'épuration. Avec l'augmentation du taux de traitement, notre pays a pu valoriser ces ressources en eau non conventionnelles dans différents secteurs, notamment, dans l'irrigation.

Actuellement, au Maroc, la REUT en irrigation des espaces verts et golfs est la pratique la plus utilisée et la plus répandue, tandis que les projets REUT à des fins agricoles sont en cours d'études et de concrétisation.

La REUT dans l'irrigation a montré des résultats favorables en termes de soulagement des pressions sur les ressources hydriques, ainsi que l'atténuation des impacts environnementaux des rejets des EU, raison pour laquelle il faut fournir encore plus d'efforts dans la REUT dans le domaine agricole afin d'améliorer le rendement en agriculture qui est un secteur qui joue un rôle important dans le développement économique et social du Maroc.

## **Références bibliographiques :**

### **Ouvrages :**

(“Liste Des STEP Achevées.” 2014)

Dadi, El Mehdi. 2014. “L’Évaluation De La Possibilité De Réutiliser En Agriculture L’Effluent Traité De La Commune De Drarga.” *Igarss 2014*, no. 1: 1–5.

Etienne, Saint, Miguel Lopez-ferber, and Jacques Bregeon. 2010. “Présentée Par Hakima EL HAITE Pour Obtenir Le Grade de Docteur de l’Ecole Nationale Supérieure Des Mines de Saint-Etienne Spécialité : Sciences et Génie de l’Environnement TRAITEMENT DES EAUX USEES PAR LES RESERVOIRS OPERATIONNELS ET REUTILISATION POU.”

FAO. 2003. “Irrigation Avec Des Eaux Usées Traitées – Manuel d’utilisation.”

Fethi, Fatima, Isabel Mart, Mohamed Bekali, and Abdelilah Fahde. n.d. “Etude Des Performances Épuratoires de La Station de Traitement Des Eaux Usées Par Lagunage Combiné de La Ville de Benslimane- Maroc . Aspect Parasitologique de La Ressource.” *Sciences-New York*.

GEB-Environnement. 2008. “Fiche Technique UNESCO : Traitement Des Eaux Usées Par Lagunage,” 1–8.

Hamid, Chaouki, Lahcen Elwatik, Youssef Ramchoun, and Rachid Fath-allah. 2014. “Étude Des Performances Épuratoires de La Technique Du Lagunage Aéré Appliquée à La Station d’épuration de La Ville d’Errachidia - Maroc.” *Afrique Science: Revue Internationale Des Sciences et Technologie* 10 (2): 173–83.

Hebabaze, Soumia, Carsten Riechelmann, Campus El Gouna, Abdelmottalib Nahli, and Matthias Kraume. 2016. “Nature & Technology Application d’Un Réacteur Biologique Membranaire “ MBR ” Pour l’Amélioration de La Qualité Des Eaux Épurées d’Une Unité d’Industrie Agroalimentaire Au Maroc,” no. September.

MAPM. 2011. “Projet de Renforcement Des Capacités Sur l’Utilisation sans Danger Des Eaux Usées En Agriculture Rapport National Du Maroc,” 2011.

Maroc, A U. n.d. “Plans Verts Urbains,” 0–90.

Maroc, Au. 2007. “Normes de Qualité Des Eaux Destinées à l’Irrigation,” no. 1.

Ministère Délégué Auprès Du Ministre De L’énergie, Des Mines, De L’eau Et De L’environnement Chargé De L’eau. 2014. “Chapitre I : Les Changements Climatiques Au Maroc 15,” 15–30.

Rozen-rechels, David. 2014. “Traitement Des Eaux Usées.” *Panorama de l’environnement 2013*, 40–41. <https://doi.org/10.1787/9789264221802-11-fr>.

- Sou, Yéli. 2009. "Recyclage Des Eaux Usées En Irrigation : Potentiel Fertilisant , Risques Sanitaires et Impacts Sur La Qualité Des Sols," 178.
- Soudi, Brahim, Mario Kerby, and Rédouane Choukr Allah. 2000. "Réutilisation Des Eaux Usées En Agriculture Au Niveau Des Petites et Moyennes Communes. Directives Générales et Expérience Pilote de La Commune de Drarga." *Programme Nationale de Transfert de Technologie En Agriculture (PNTTA) N° 67 (Rabat):* 1–4.
- Union européenne. 2016. "Appui a La Promotion De La Reutilisation Des Eaux Usees Par Le Renforcement Des Aspects Institutionnels , Reglementaires Et Financieres , Ainsi Que Des Demarches," 47,48.
- World-Bank. 2017. "Gestion de La Rareté de l' Eau En Milieu Urbain Au Maroc." *World-Bank*, 1–38.
- Vert, Plan Maroc. 2016. "FICHE MARCHÉ L ' Agriculture Au Maroc," 1–2.
- Thiene, Oumar. 2019. "Rhéologie Des Boues Résiduaire : Rôle de La Thixotropie et de La Composition Sur Les Propriétés Liquides et Solides Oumar Thiene," no. July. p:24.

#### Revue et articles :

- "Le Traitement Des Eaux Usées de La Ville de Marrakech."
- "Marrakech Mise Sur Ses Golfs Verts - Le Point."
- "Pénurie d'eau : Le Maroc Tire Le Signal d'alarme | National Geographic."
- "Programme Eau : La STEP de Khouribga Au Service de La Ville | OCP Group."
- "Le Maroc Dispose de 153 Stations de Traitement Des Eaux Usées - Infomédiaire."

#### Sites internet:

- "Elevo." <http://www.elevogroup.com/fr/portefeuille/step-d-al-hoceima/>.
- F, Karim. 2018. "Do Not Waste Water Even If You Were at a Running Stream." *Sunan Ibn Majah*, 425. <https://marvtn.medium.com/do-not-waste-water-even-if-you-were-at-a-running-stream-ea5cdf737e79>.
- "Google Maps.", 2021. <https://www.google.com/maps/@31.8008346,-7.150688,6z>.
- Jaziri, Kais, Magali Casellas, and Christophe Dagot. 2012. "Comparing the Effects of Three Pre-Treatment Disintegration Techniques on Aerobic Sludge Digestion: Biodegradability Enhancement and Microbial Community Monitoring by PCR-DGGE." *Environmental*

*Technology (United Kingdom)* 33 (12): 1435–44. <https://doi.org/10.1080/09593330.2011.632653>.

“ONHYM.” <http://www.onhym.com/component/content/article/26-cartes-des-domaines-petroliers-et-miniers/contenu/54-geologie-du-maroc-domaines-structuraux.html>.

“Présentation Générale – Direction Générale de l’Eau.”

<http://81.192.10.228/ressources-en-eau/presentation-generale/>.

“REUTILISATION DES EAUX USEES - Eau Du Maroc.” n.d. Accessed June 24, 2021. <http://www.eaudumaroc.com/2019/02/reutilisation-des-eaux-usees.html>.

“Risque Hydrique : Le Maroc Parmi Les 23 Pays Les Plus Exposés.”

<https://www.ecoactu.ma/risque-hydrique-le-maroc/>.

“STEP - RADEEMA.” n.d. Accessed June 22, 2021. <https://www.radeema.ma/step>.

“Water Resources in Morocco - Fanack Water.” [https://water.fanack.com/morocco/water-resources-morocco/#\\_ftn1](https://water.fanack.com/morocco/water-resources-morocco/#_ftn1).

“Les Principes de Base de l’épuration Des Eaux Usées | Caue 60.”

<http://www.caue60.com/amenagement-paysager/eau-et-amenagements/les-principes-de-base-de-lepuration-des-eaux-usees/>.

“Maroc • Fiche Pays • PopulationData.Net.” <https://www.populationdata.net/pays/maroc/>.

“Morocco Population | 1960-2020 Data | 2021-2023 Forecast | Historical | Chart | News.”

<https://tradingeconomics.com/morocco/population>.

Bzioui, Mokhtar. 2004. “Rapport National 2004 Sur Les Ressources En Eau Au Maroc.” *UN Water-Africa*, 94.

[http://doc.abhatoo.net.ma/doc/IMG/pdf/Rappt\\_national\\_eau\\_maroc.pdf](http://doc.abhatoo.net.ma/doc/IMG/pdf/Rappt_national_eau_maroc.pdf)

## ANNEXE 1

### Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation

Problèmes Potentiels en Irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
<b>Salinité</b>				
EC <sub>w</sub> <sup>1</sup>	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
ou TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
<b>Infiltration</b>				
SAR <sup>2</sup> =0 - 3 et EC <sub>w</sub> =	dS/m	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
=3 - 6 =		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
=6 - 12 =		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
=12 - 20 =		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
=20 - 40 =		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
<b>Toxicité Spécifique des ions</b>				
<b>Sodium (Na)</b>				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 – 9	> 9
Irrigation par aspersion	még/l	< 3	> 3	
<b>Chlorure(Cl)</b>				
Irrigation de surface	még/l	< 4	4 – 10	> 10
Irrigation par aspersion	még/l	< 3	> 3	
<b>Bore (B)</b>	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
<b>effets divers</b>				
Azote (NO <sub>3</sub> -N) <sup>3</sup>	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	még/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
<b>pH</b>	Gamme normale 6.5 - 8.4			
<p><sup>1</sup> EC<sub>w</sub> signifie la conductivité électrique en deciSiemens par mètre à 25°C.</p> <p><sup>2</sup> SAR signifie le taux d'adsorption de sodium (sodium adsorption ratio).</p> <p><sup>3</sup> NO<sub>3</sub> -N signifie l'azote sous forme de nitrate rapporté en terme d'azote élémentaire. NH<sub>4</sub>-N et N-organique devraient être également examinés dans les eaux usées.</p>				

## **ANNEXE 2**

**PNA** : Le Programme National d'Assainissement Liquide et d'Épuration des Eaux Usées (PNA) a été lancé en 2005, conjointement par le Secrétariat d'Etat chargé du Développement Durable, le Ministère de l'Intérieur et le Ministère d'Economie et de Finance.

### **Objectifs**

Le PNA fixe les objectifs spécifiques pour l'horizon 2020 et 2030 suivants :

- Atteindre un taux de raccordement global au réseau d'assainissement en milieu urbain de 80% en 2020
- Atteindre un volume des eaux usées traitées de 60% en 2020

Ainsi, les principaux impacts du PNA sont l'amélioration des conditions sanitaires dans les communes concernées et l'amélioration environnementale des bassins hydrauliques. Les autres retombées sont le développement touristique et la création d'emplois en particulier dans l'ingénierie, le BTP et le tourisme.

**PLAN MAROC VERT** : Lancé en avril 2008 par Sa Majesté le Roi Mohammed VI, le Plan Maroc Vert (PMV) est une stratégie ambitieuse qui s'est fixé pour objectif d'ériger le secteur agricole en véritable levier du développement socio-économique au Maroc. Cette stratégie a pour finalité, à l'horizon 2020, d'exploiter pleinement le potentiel agricole du pays et ambitionne de doubler le PIBA, de créer 1,5 millions d'emplois additionnels, de lutter contre la pauvreté et d'améliorer le revenu agricole de 2 à 3 fois en faveur de 3 millions de ruraux ainsi que d'accroître la valeur des exportations de 8 à 44 Milliards de dirhams pour les filières où le Maroc est compétitif.

**Loi sur l'eau article 84** : interdit la REUT en agriculture chaque fois que la qualité de ces eaux usées ne correspond pas aux normes fixées par voie réglementaire.

**Loi sur l'eau article 51** : relatif à l'établissement des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation et d'autres usages. Ces normes sont élaborées par le Comité Normes et Standards, fixés par arrêté et révisées tous les dix ans ou chaque fois que le besoin s'en fait sentir. Les agences de bassins hydrauliques sont tenues par la loi sur l'eau de prendre les mesures nécessaires pour que la qualité des eaux respecte ces normes.

**Décret n°1276-01 du 17 octobre 2002 :**

1520	BULLETIN OFFICIEL	N° 5062 – 30 ramadan 1423 (5-12-2002)
<p><b>Arrêté conjoint du ministre de l'équipement et du ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement n° 1276-01 du 10 chaabane 1423 (17 octobre 2002) portant fixation des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation.</b></p>	<p>salinité, aux ions toxiques et aux effets divers ne répondent pas à celles du tableau mentionné à l'alinéa ci-dessus.</p>	
<p>LE MINISTRE DE L'EQUIPEMENT,</p>	<p>ART. 3. – Le nombre minimal d'échantillons sur la base duquel une eau destinée à l'irrigation est dite conforme aux normes fixées dans le tableau mentionné à l'article 2 ci-dessus, est de six (6) par an à raison d'une (1) tous les deux (2) mois à partir de février pour les eaux superficielles, et de deux (2) par an pour les eaux souterraines pendant la période d'irrigation.</p>	
<p>LE MINISTRE CHARGE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, DE L'URBANISME, DE L'HABITAT ET DE L'ENVIRONNEMENT.</p>	<p>Toutefois, pour les eaux usées épurées, le nombre minimal d'échantillons sur la base duquel une eau destinée à l'irrigation est dite conforme aux normes fixées dans le tableau mentionné à l'article 2 ci-dessus, est de :</p>	
<p>Vu le décret n° 2-97-787 du 6 chaoual 1418 (4 février 1998) relatif aux normes de qualité des eaux et à l'inventaire du degré de pollution des eaux ;</p>	<p>– quatre (4) par an à raison d'un (1) par trimestre pour analyser les métaux lourds ;</p>	
<p>Vu le décret n° 2-97-875 du 6 chaoual 1418 (4 février 1998) relatif à l'utilisation des eaux usées ;</p>	<p>– 24 par an à raison d'un (1) tous les quinze (15) jours pour analyser les paramètres bactériologiques, parasitologiques et physico-chimiques.</p>	
<p>Après avis du ministre de la santé et du ministre de l'agriculture, du développement rural et des eaux et forêts,</p>	<p>Les prélèvements d'échantillons susmentionnés doivent s'effectuer à la sortie des stations d'épuration.</p>	
<p>ARRÊTENT :</p>	<p>ART. 4. – Pour la délivrance des autorisations d'utilisation des eaux usées conformément au décret susvisé n° 2-97-875 du 6 chaoual 1418 (4 février 1998), l'agence de bassin doit se conformer aux critères ci-après :</p>	
<p>ARTICLE PREMIER. – A compter de la date de publication du présent arrêté conjoint, les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation visées à l'article premier du décret n° 2-97-787 susvisé sont fixées au tableau joint au présent arrêté.</p>		
<p>ART. 2. – Toute eau destinée à l'irrigation doit satisfaire aux normes de qualité fixée au tableau joint au présent arrêté.</p>		
<p>Toutefois, l'agence de bassin peut, lorsque les ressources en eau disponibles ne sont pas suffisantes, permettre l'utilisation pour l'irrigation des eaux dont les valeurs limites relatives à la</p>		